

小型電気自動車用フレームの 設計と応力解析

高知工科大学
知能機械システム工学科
横山 應祥

概要

我々はグループ研究で、小型電気自動車を製作した。
これは、2年次に普通軽自動車を電気自動車に改造した実績を元に計画された。

報告者は今回の計画において、図面製作とフレームの応力解析を担当した。

主要部品であるフレームに関して応力解析を行うことにより、耐久性の評価を行うこととした。

解析は実際の走行を意識して条件設定をした。
有限要素法により解析を行い、主応力の平均応力については比較的良好な結果を得た。

最大応力が非常に大きな値となったが、モデルの不備が大きく影響しているものと予想された。

上記の結果より、応力集中部の精密解析が必要であるものの、平均応力の評価からはフレームに改良の余地があると思われる。

今回のグループ研究では、設計・製図・解析と、もの作りの基本的な流れを体験でき、それだけでも十分貴重な体験ではあった。
その中でも、設計意図を伝える図面が描けず苦労した事は、特に貴重な体験だった。

目次

- 1 . 緒言
- 2 . 研究の背景
- 3 . 計画の流れ
- 4 . 図面製作
- 5 . 小型電気自動車のフレーム
- 6 . 解析
 - 6 . 1 解析条件及び解析モデル
 - 6 . 2 解析結果
 - 6 . 3 結論
- 7 . 今後の課題
- 8 . 結言
- 9 . 謝辞
- 10 . 学会発表
- 11 . 文献

付録

- 付録 A : 図面集
- 付録 B : 学会発表資料

小型電気自動車用フレームの設計と応力解析

1010230

横山 應祥

1. 緒言

我々はグループ研究として、個人での短距離移動を実現するための新たな手段となる、Fig. 1 に示すような一人乗りの小型電気自動車を製作した。

この電気自動車の想定される使用用途としては、通勤通学、買い物、高齢者の移動、などが挙げられる。例として挙げたものは、多くの場合一人で行われるものである。しかし、そこで使用される現状の自動車は複数人が乗車可能なものであり、不経済であると言える。また、最近の大気汚染問題から見ても好ましい状況とは言えない。このような状況もふまえて、一人乗りの小型電気自動車を企画・製作した。

電気自動車は文字どおり電気で動く自動車である。このため、電気自動車はバッテリーを搭載する必要がある、どうしても全体重量が重くなってしまふ。この点も考慮しつつ、十分な耐久性を持つように構造を考え製作したが、自動車製作に関する知識や経験が十分になかったため、実際にどれくらいまでの力に耐えられるかは分かっていなかった。そこで、製作した小型電気自動車の主要部品であるフレームについて応力解析を行いその耐久性について評価を行う事とした。

本報告では、報告者が担当した設計と応力解析について述べる。



Fig. 1 製作した小型電気自動車

2. 研究の背景

小型電気自動車に先駆け、2年次に普通軽自動車を改造した電気自動車をグループで製作した（Fig. 2）。この改造電気自動車は、四国で行われる「四国EVラリーフェスティバル」に向けて製作されたもので、公道も走行可能であった。これを一歩進めて、基礎となる車体から製作しようとしたのが今回の計画である。

一方、坂本研究室では、ものづくりの一環として3D-CADを重要視している。研究室配属の3年次よりCADを本格的に学び始め、ローカルクリーンエネルギー研究の一環として発電機の3D-CAD図面の作成を担当した。（Fig. 3・Fig. 4：作成例）その関連から、今計画で図面製作を担当することとなった。



Fig. 2 改造した電気自動車

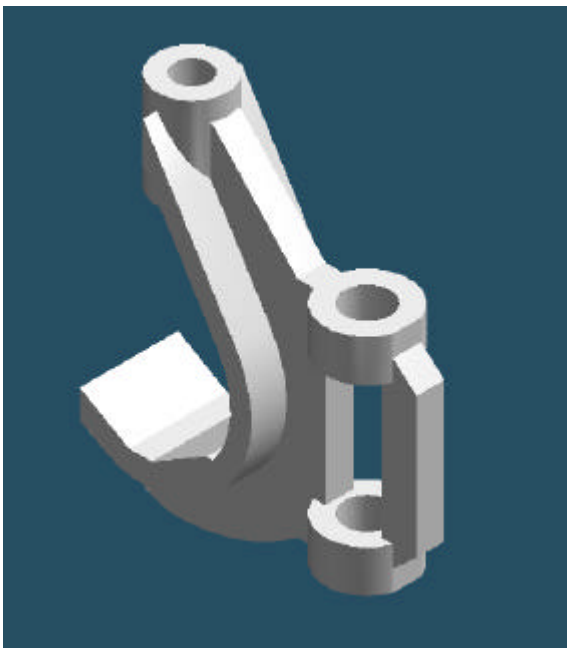


Fig. 3 練習で描いた3D-CADモデル

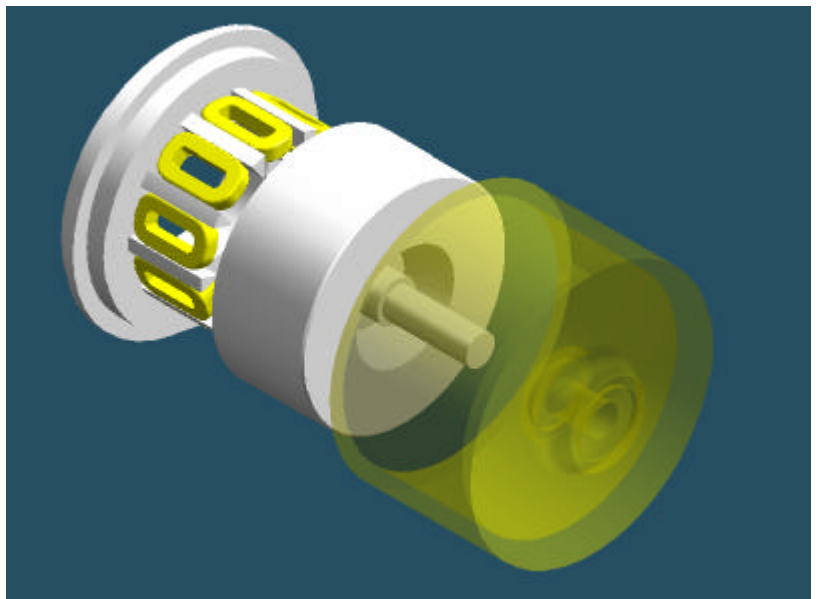


Fig. 4 発電機の3D-CADモデル

3. 計画の流れ

以下に今計画の流れ図を示す。この内、下線の引かれたものに報告者は関与しており、また、の付けられたものは報告者が担当した。

設計会議による設計諸元と構造の決定

CGによる概念設計

● 3D-CAD、2D-CADによる部品図面の作成

小型自動車用部品のメーカー調査と部品購入

製作メーカー(福留工業、坂本鉄工)との製作打ち合わせ

● フレームの応力解析

制御用電子ボード製作

組み立て作業

4. 図面製作

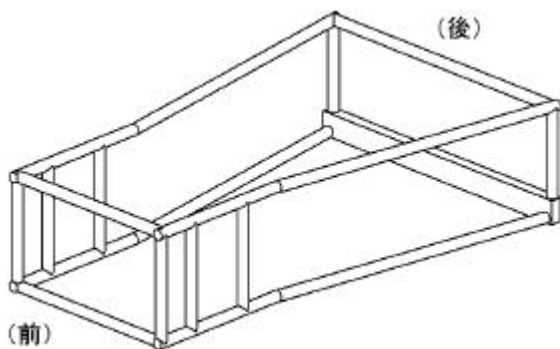
図面製作には3D-CADソフト(SolidEdge-Unigraphics Solutions製)を使用した。

図面製作は、前段階で製作された3DCG(3.参照)を元に、新たに3D-CAD図面を作成し、それを使用して2D-CAD図面を作成する流れで行った。

作成したのは、フレーム、モータマウント、サスアーム、その他細々とした部品など、小型電気自動車製作に必要な部品の殆ど全ての図面とその組立図などである。付録Aに図面集を示す。

この図面を元にして加工メーカーに製作依頼をしたが、読みにくい・分かり難いという評価であった。製作者に設計意図を伝える難しさを痛感した。

5. 小型電気自動車のフレーム



応力解析の対象である小型電気自動車用フレームの形状を、Fig.5の3D-CAD図面、Fig.6の2D-CAD図面に示す。

27.2×t2.8のパイプ(材料:SGP)と、断面60mm×30mmの角材(材料:SS400)を組み合わせて作られており、その接合は全て溶接で行われている。

フレーム前方に前輪及びステアリング機構、フレーム後方に後輪及び駆動モータ、フレーム中央付近にバッテリー及びシートを設けてあり、総重量は約350kgである。

Fig. 5 3D-CAD図面

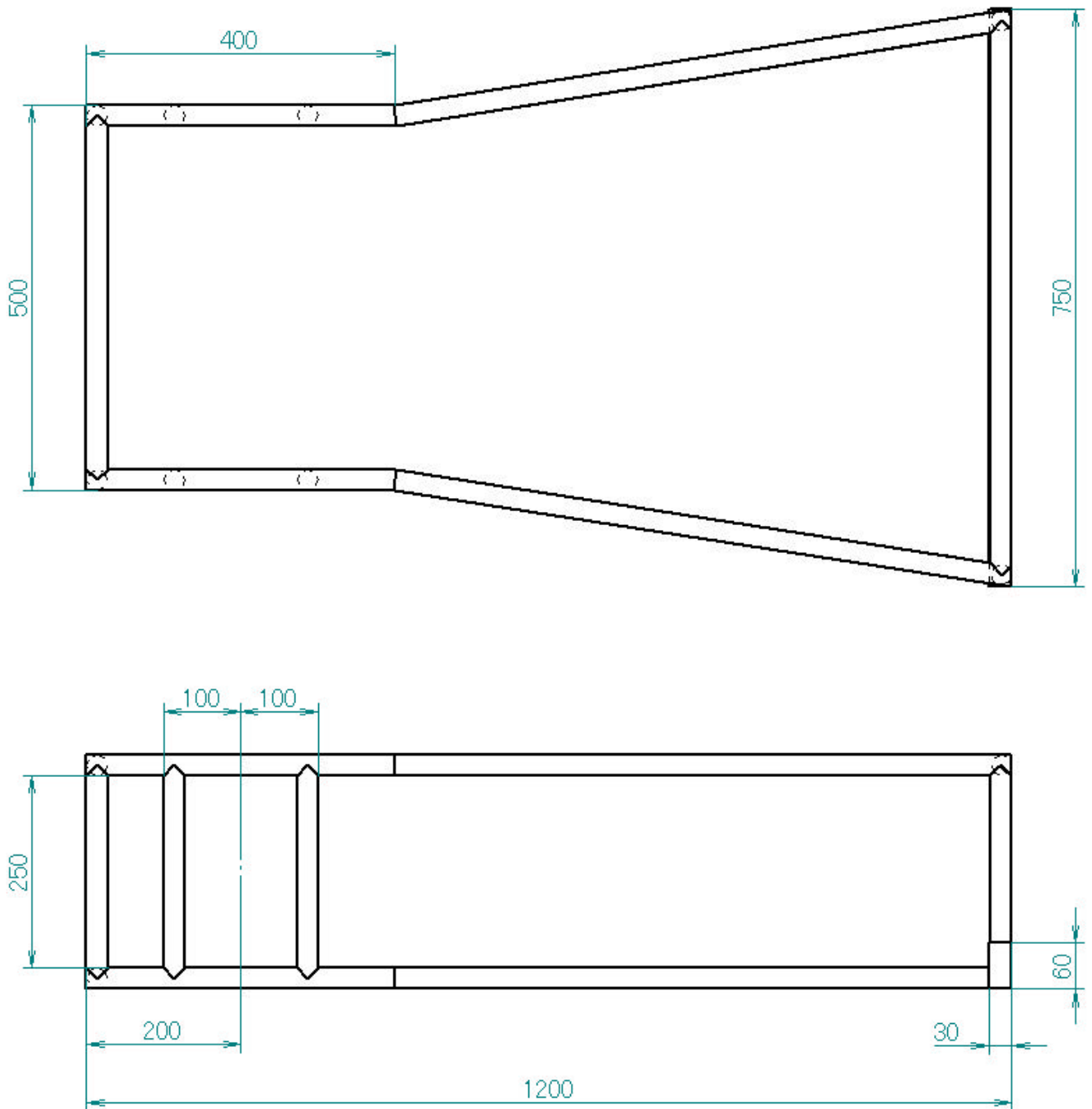


Fig. 6 2D - CAD図面

6. 解析

6.1 解析条件及び解析モデル

解析は実際の走行を意識して、バッテリー4個を搭載した上でシートに人が乗っているとして行った。また、材質は鋼であるので弾性係数を 21000 kgf/mm^2 、ポアソン比を 0.3 とした。

Fig. 7に示すように、フレームはサスアーム接続部計12点で拘束するものとし、荷重については、シート取り付け部4点と、バッテリーを乗せている板とフレームが触れ合う面2ヶ所に作用するとした。

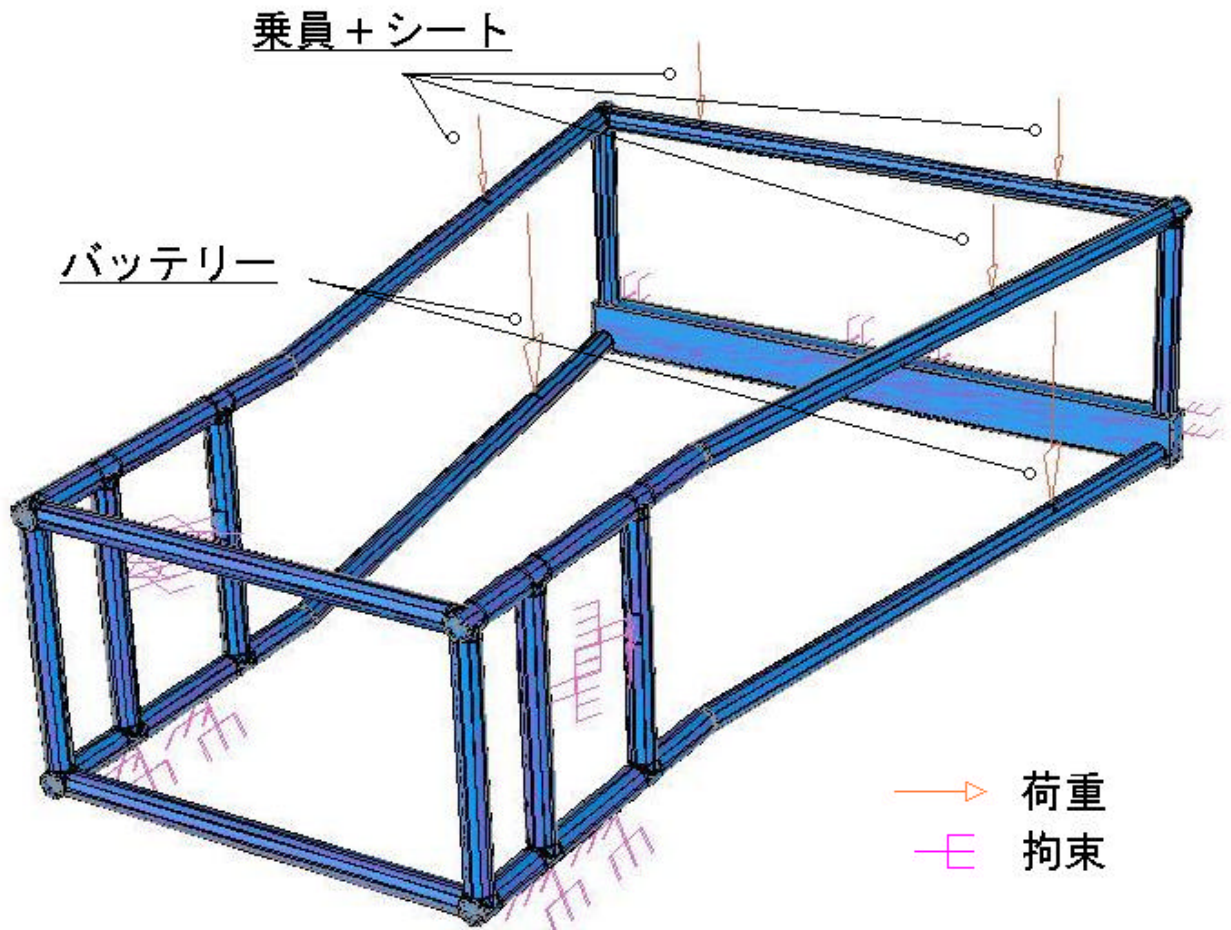


Fig. 7 フレームモデル

荷重の決定には以下の式(1)(2)を用いた。

$$\begin{aligned}
 & (\text{シート} + \text{乗員} : 75\text{kgf}) \\
 & \quad \times (\text{安全率} : 5) \times (\text{4点等割} : 1/4) \\
 & \quad = 93.75\text{kgf} \quad \dots(1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\text{バッテリー4個} : 88\text{kgf}) \times (\text{安全率} : 5) \\
 & \quad = 440\text{kgf} \quad \dots(2)
 \end{aligned}$$

安全性を確保するために、荷重に安全率として5をかけた値を使用することとした。安全率に関しては、走行時の荷重変動や荷重バランスの変化、また、フレームの耐久性を検証するという観点から高めに設定した。今後、この安全率の妥当な値を検討していきたい。

6.2 解析結果

解析モデルを作成し、有限要素法ソフト(StressCheck - アプライドデザイン製)による解析を行った。Table 1に解析結果の内、主応力の最小値・最大値・平均値を示す。(単位: kgf/mm²)

(0) Solution = SOL, runs #1 to #4
 749 of 749 elements, 3 midsides (Element,Line), System=Global

Run #	DOF	Min. S1	Max. S1	Mean S1
4	52503	-2.762095e+001	1.403618e+002	2.055109e+000

Table 1 計算結果

解析に平行して、結果を評価するためにフレームの一部分（フレーム後端上部のはり：Fig. 8）を抜き出して手計算で応力を求めた。

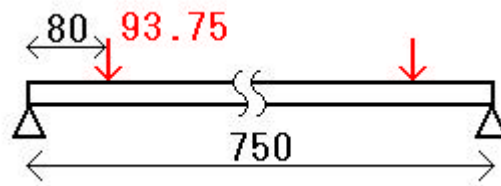


Fig. 8 はりの略図

$$Z = \frac{\pi}{32} \frac{27.2^4 - 21.6^4}{27.2} = 1190.3$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{93.75 \times 80}{1190.3} = 6.3 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

解析結果と手計算の値を比較すると、平均値は比較的合っているが最大応力が大きく違っていることが分かる。

そこで、特に大きな応力が出ている場所を調べてみたところ、材料同士が繋がっている場所、具体的にはフレーム後端下部の角材と前後方向に渡してあるパイプの付け根などで大きな応力が出ている。このモデルは角部にRを付けるなどの応力集中対策を施さず作成したので、この事からモデル作成時の不備による応力集中が大きく影響していると考えられる。なお、計算結果のファイルが保存処理時の手違いで消失したため、応力分布図は今回図示できなかった。

6.3 結論

主応力の平均値だけを見た場合、その数値は材料の降伏点及び引張り強さよりかなり小さい。したがってこのフレームには改良の余地があると言える。最大値については、降伏点及び引張り強さを大幅に上回ってしまったが、応力集中を考慮していないモデルなので、現時点では評価できない。今後、精密な部分モデルを製作して再度解析を行う必要がある。

以上の結果より、平均応力の評価からはフレーム形状の改良、材料・材質の変更の余地があると言える。さらに、応力集中部の精密解析も必要である。

7. 今後の課題

今回は、ひずみゲージによる実働応力の測定までできなかった。現在、解析ができつつあるので、実測を行い解析結果との比較が可能となる予定である。また、解析時の荷重決定の観点から、加速度センサを取付けて上下方向の加速度を計測し、稼動時荷重を求めて安全率を実際に近づける必要がある。これにより、より実際に即したフレーム設計が可能となる。

これらとは別に、モータマウントの応力解析を行うことも今後の課題の1つであると言える。

8. 結言

今回のグループ研究で、報告者は設計・製図・解析と、もの作りの基本的な流れを体験したが、知識・経験の不足を強く感じた。その中でも、製作者サイドの知識・経験の不足は特に大きなものだった。例えば、溶接による歪みを過小評価した設計をした為、後に設計を変更した事などがそれに当たる。

図面は設計意図を伝えることができ、初めて意味を持つものである。製図法は独学できるが、設計意図を伝えられる図面を引くには、独学だけでは対処しきれないところがある。この事が分かっただけでも、今回のグループ研究に参加した意義があった。

9. 謝辞

部品の製作をして下さり、また、製作の相談にのって下さった福留工業殿、坂本鉄工所殿に謝辞を述べたいと思います。

10. 学会発表

- 1)東男、松岡順一、伊藤淳、内野喬誌、横山應祥、製品分解による小型風力発電機、小型水力発電機の設計思想、エコデザイン 2000 ジャパンシンポジウム、2000年12月、p90-93
- 2)澤田達郎、坂本東男、戒能徹、横山應祥、小型電気自動車の設計・製作、日本機械学会中国四国支部講演会、2001年3月、発表予定
- 3)Haruo Sakamoto, Takashi Uchino, Noriaki Onishi, Toru Kaino, Tatsuro Sawata, and Masaaki Yokoyama, Capstone Design and Manufacture of Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle, ASME Conference, Sept. 2001, to be presented.

(付録Bに発表資料を示す)

11. 文献

JISハンドブック1999年度版、鉄鋼
機械工学便覧改定第6版、材料力学
材料力学入門、高尾健一

付録 A 図面集

ステアリング

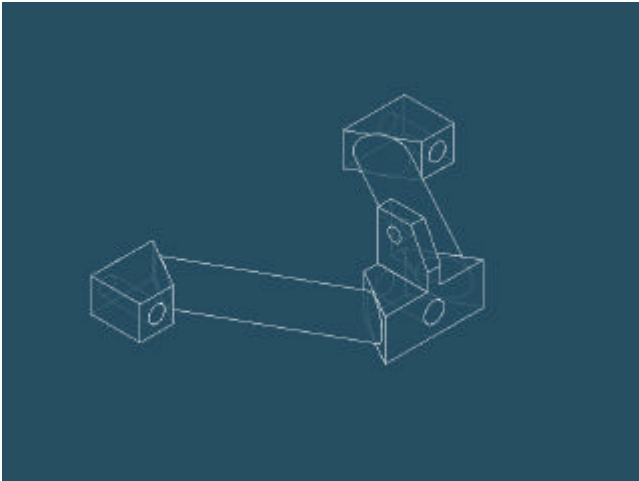
- ロアアーム
- アッパーアーム
- ステアリング用パーツ

フレーム

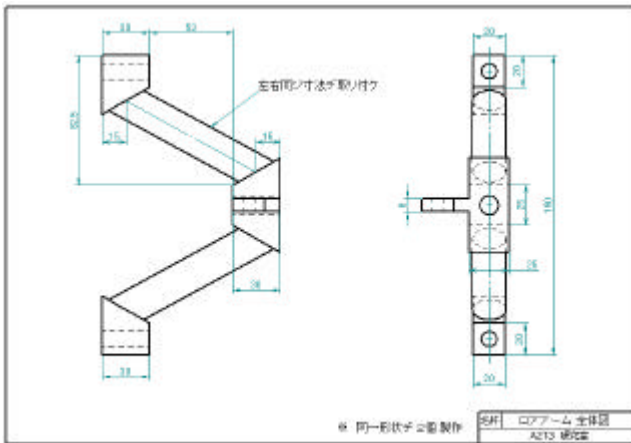
- フレーム
- ステ - 取付図
- ステ - 各種
- ハンドル取付部
- ハンドル取付部用プレート

モータマウント

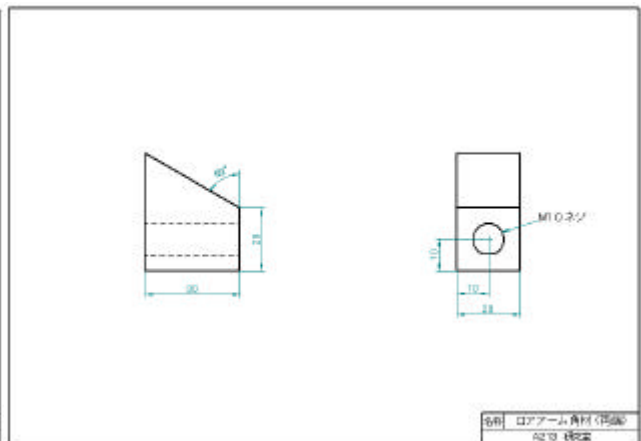
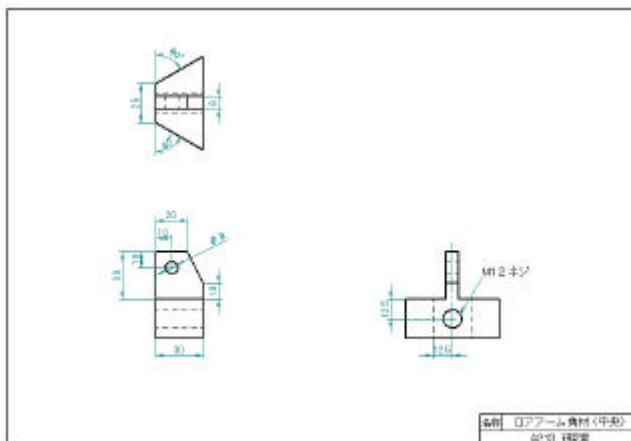
- モータマウント
- モータ取付用プレート (1)
- モータ取付用プレート (2)
- モータマウント組立図
- モータ軸カップリング

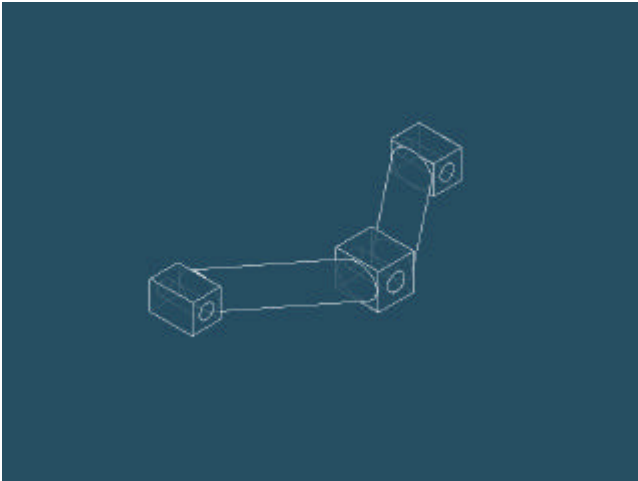


ロアーム 3 D

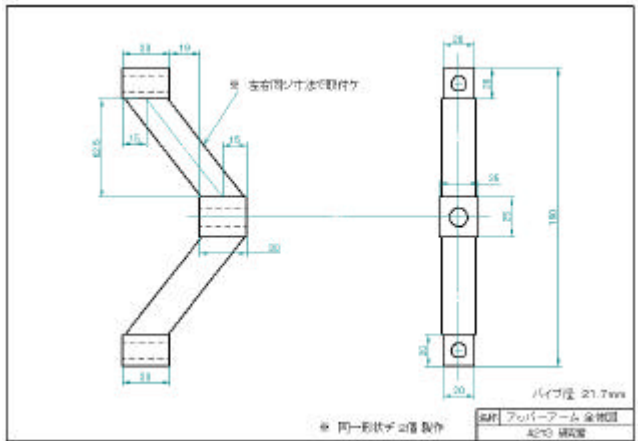


ロアーム 2 D

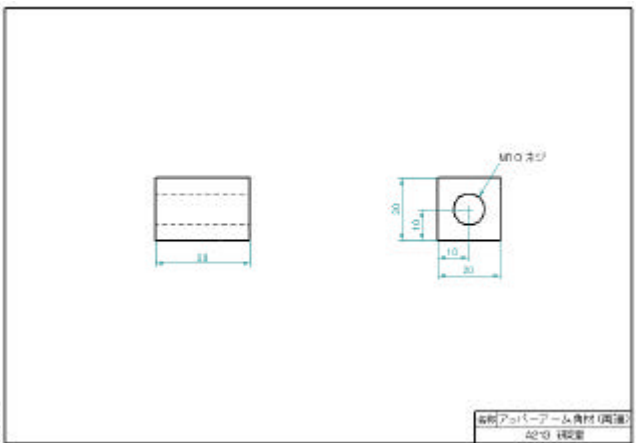
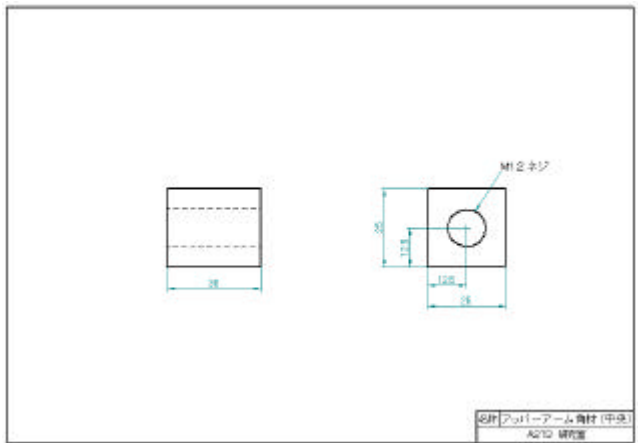


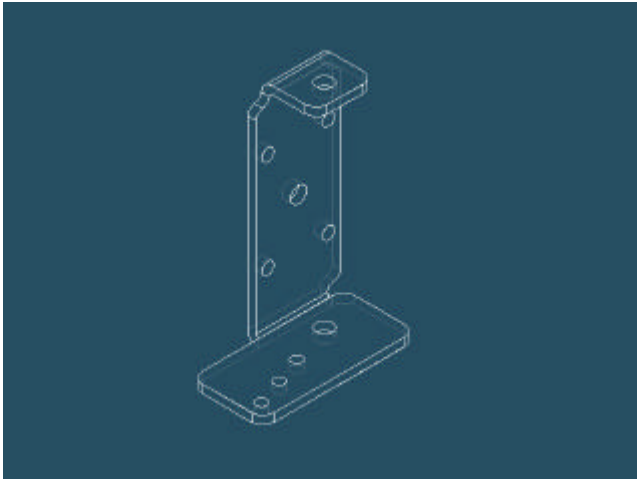


アッパーアーム 3 D

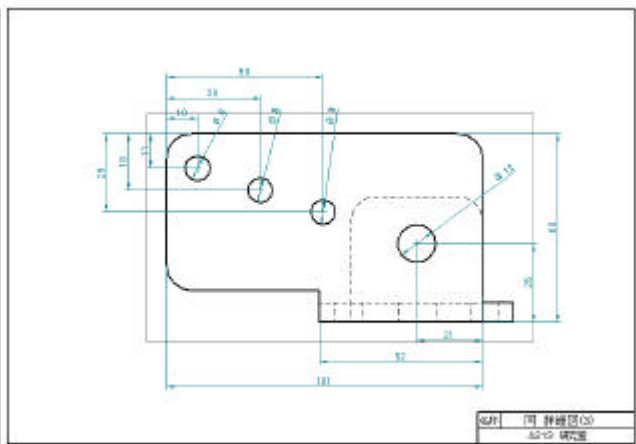
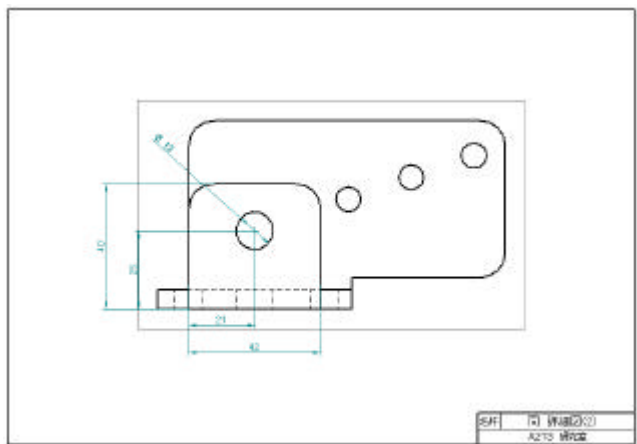
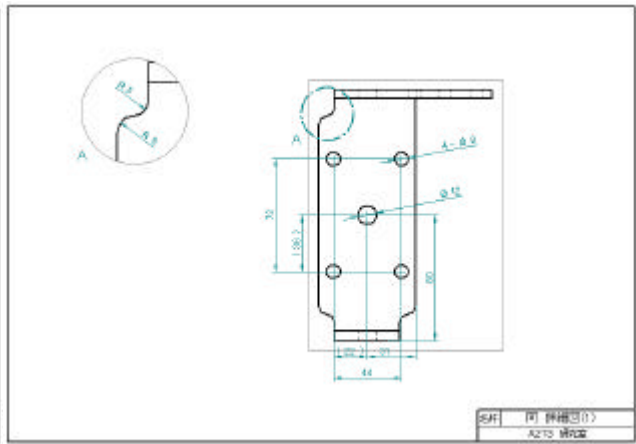
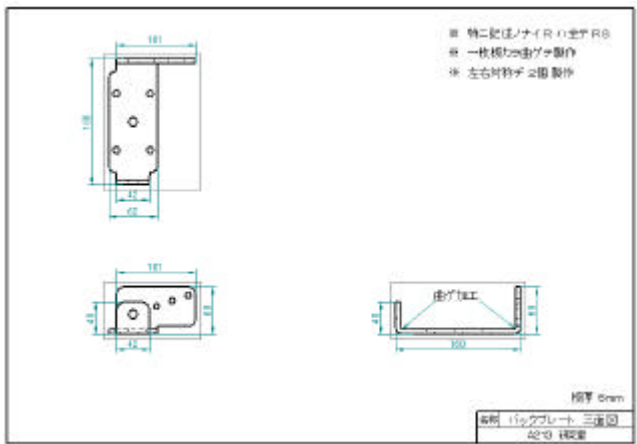


アッパーアーム 2 D

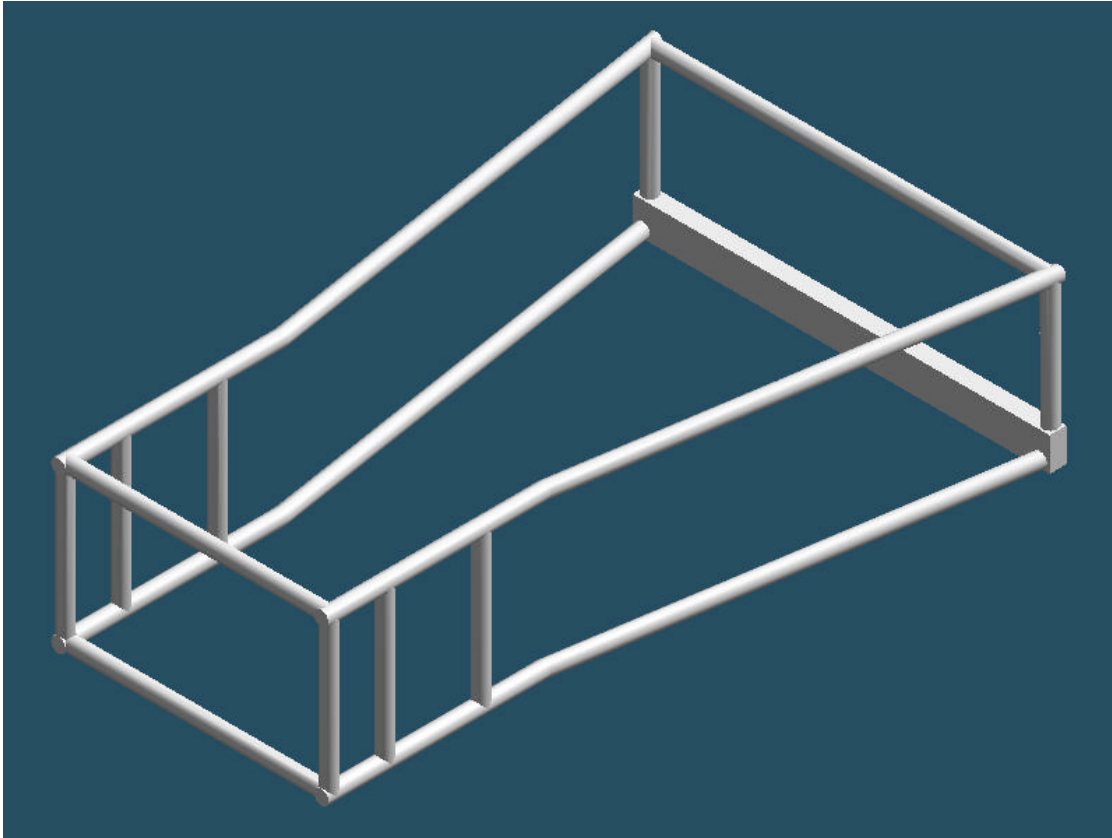




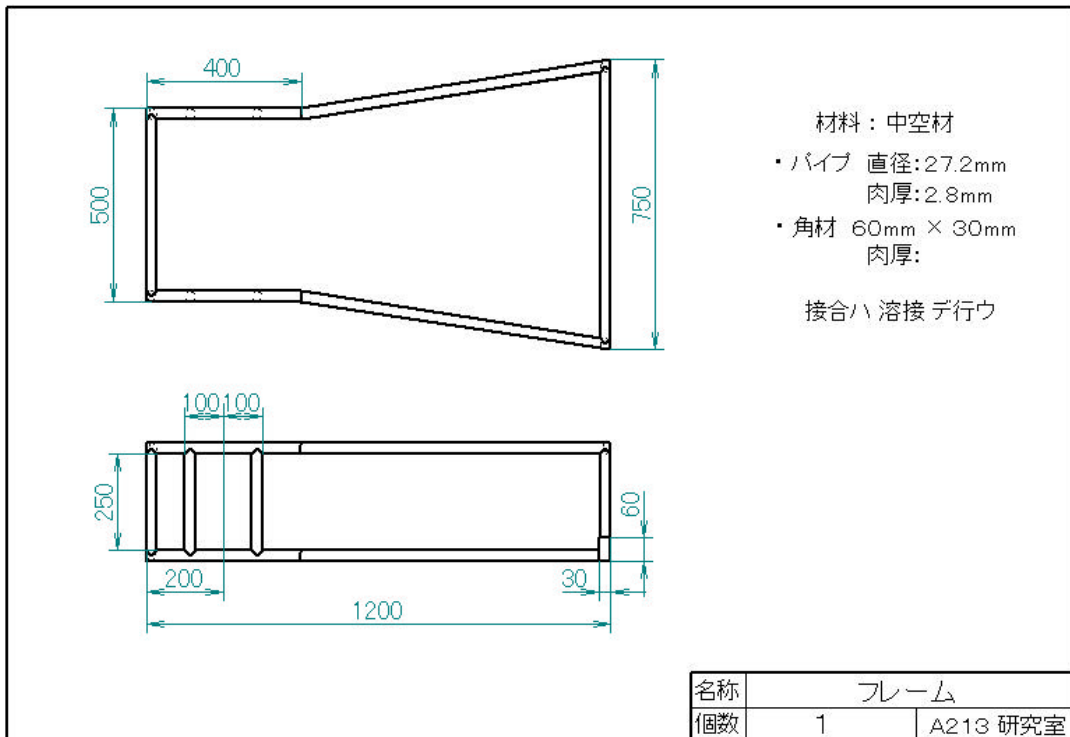
ステアリング用パーツ 3D



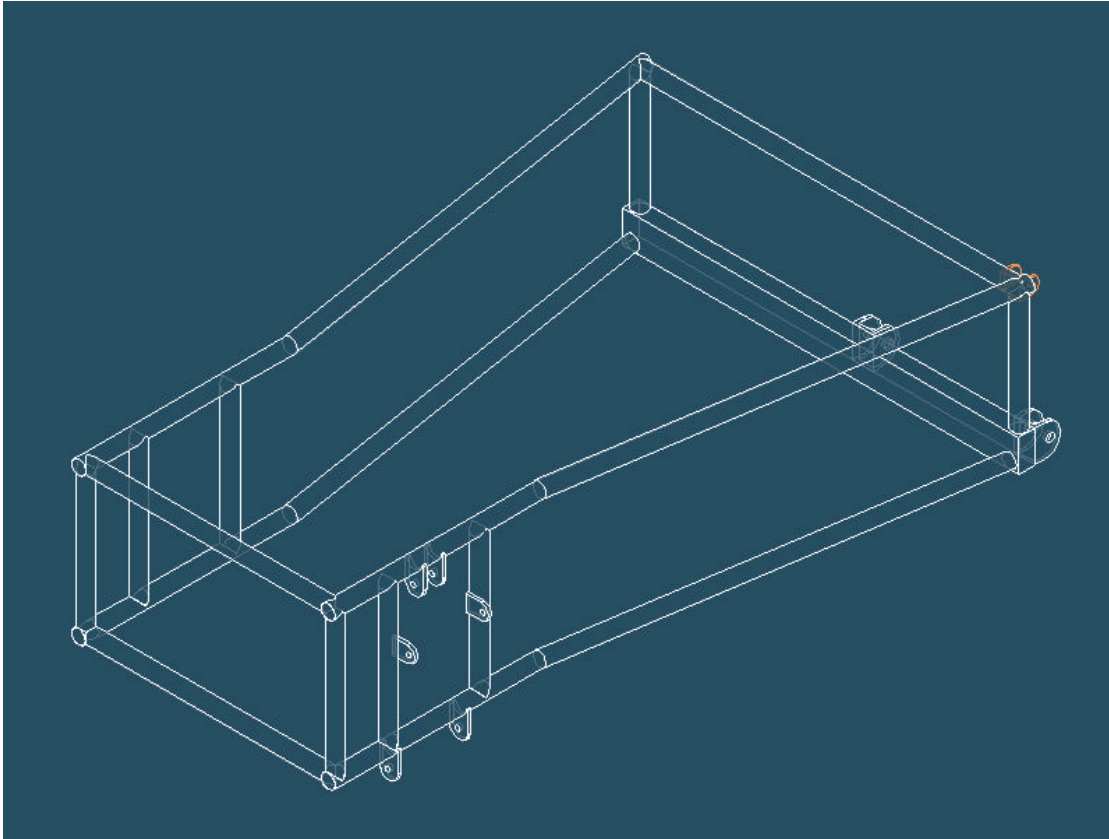
ステアリング用パーツ 2D



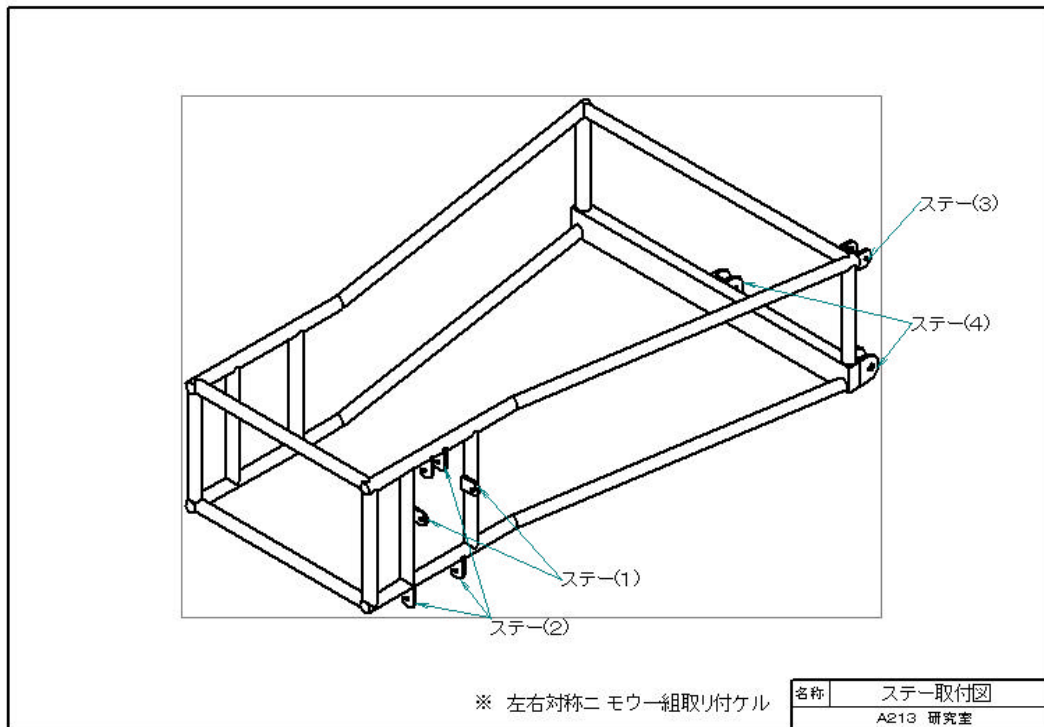
フレーム 3 D



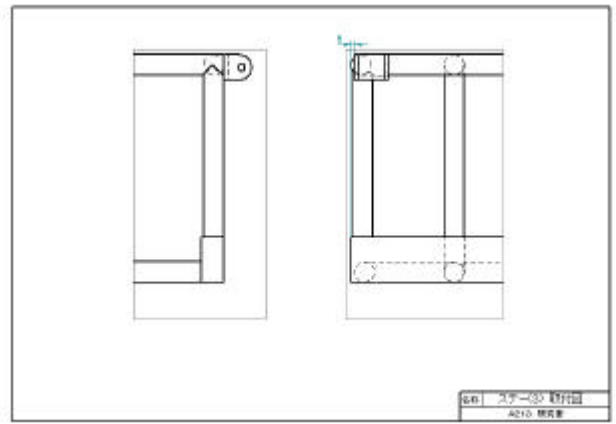
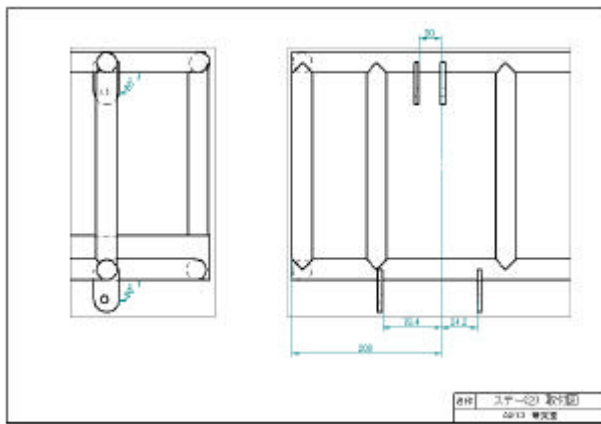
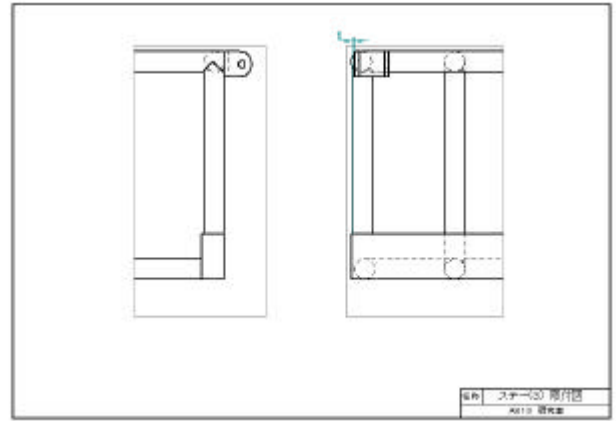
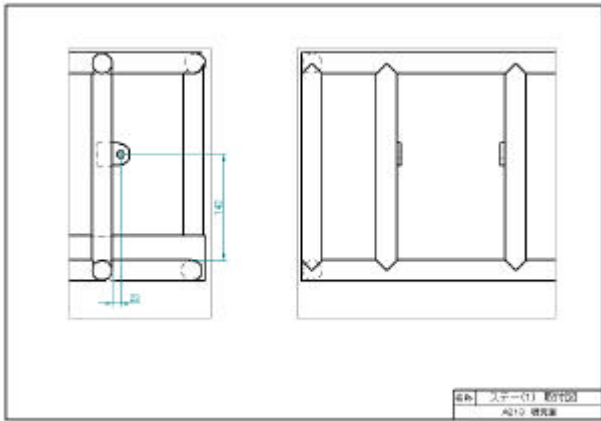
フレーム 2 D



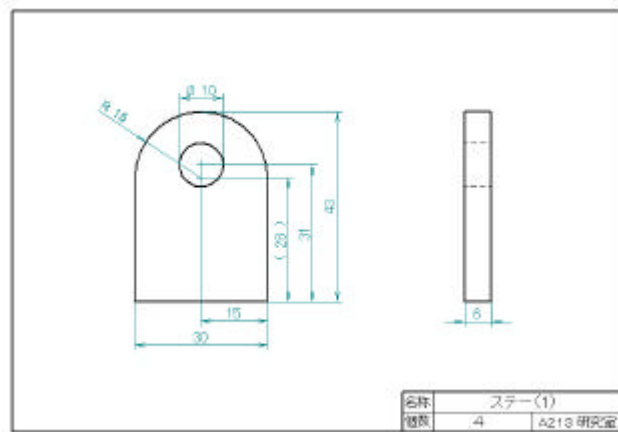
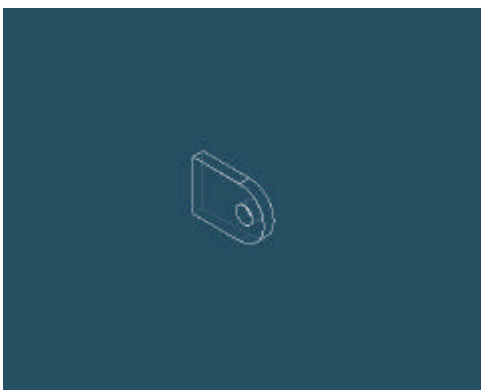
ステ - 取付図 3 D



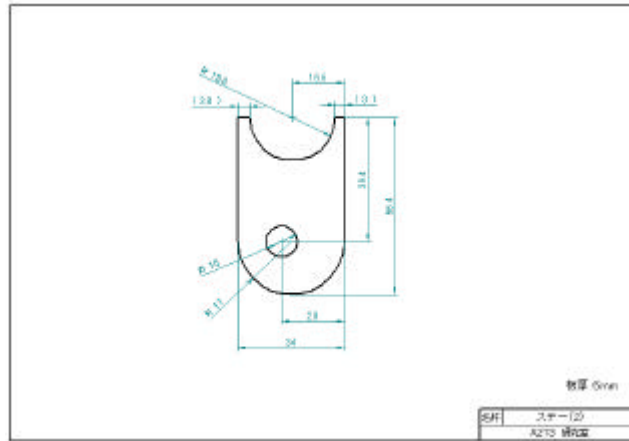
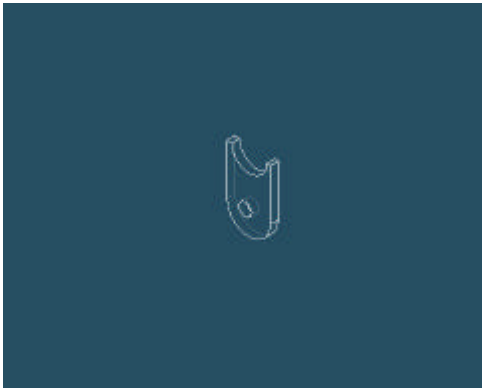
ステ - 取付図 2 D



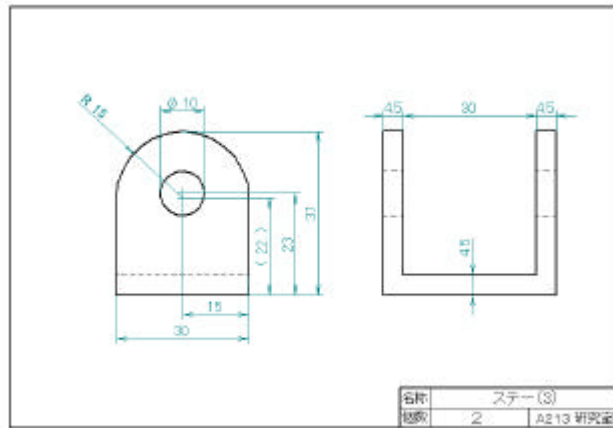
ステ - 取付図 2 D (続き)



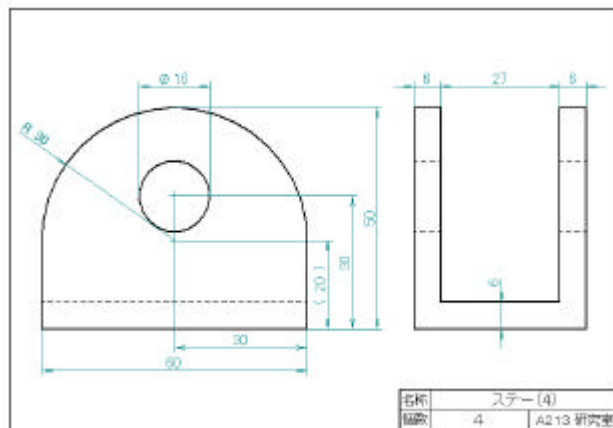
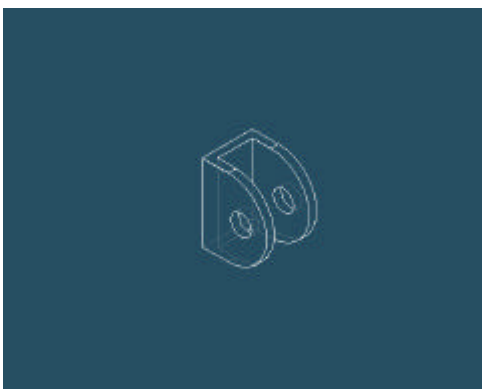
ステ - (1)



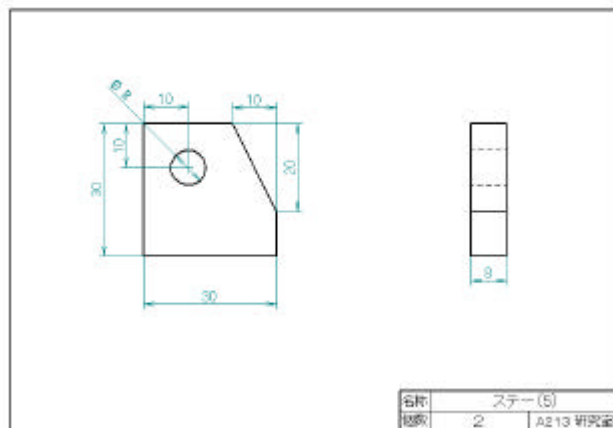
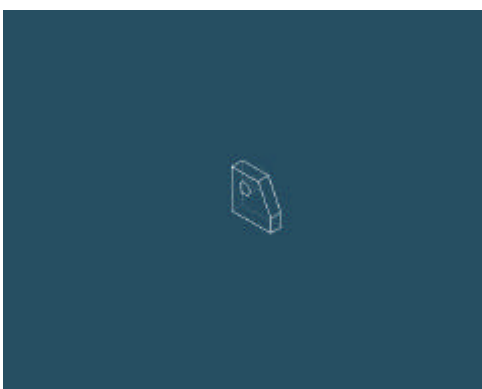
ステ - (2)



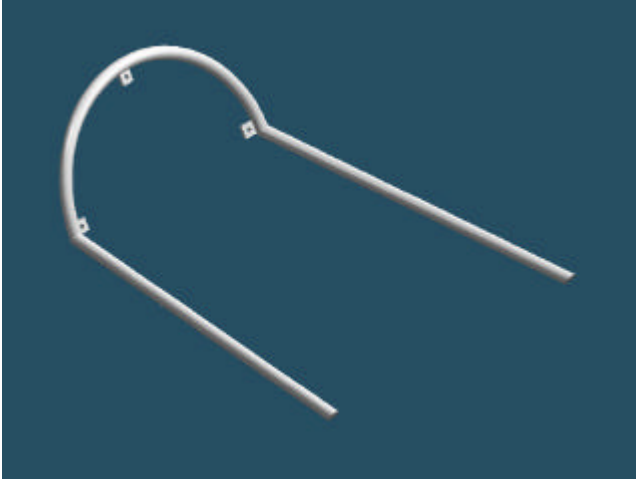
ステ - (3)



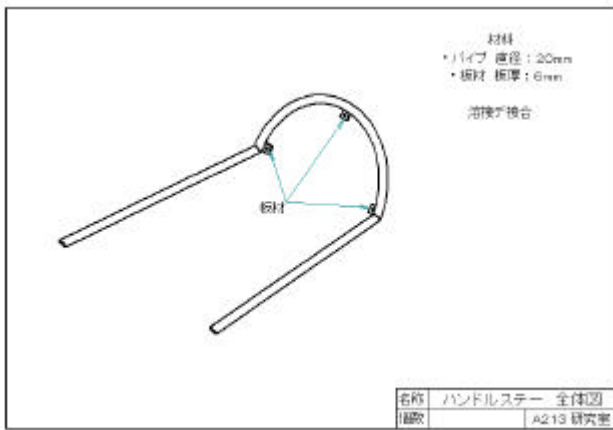
ステ - (4)



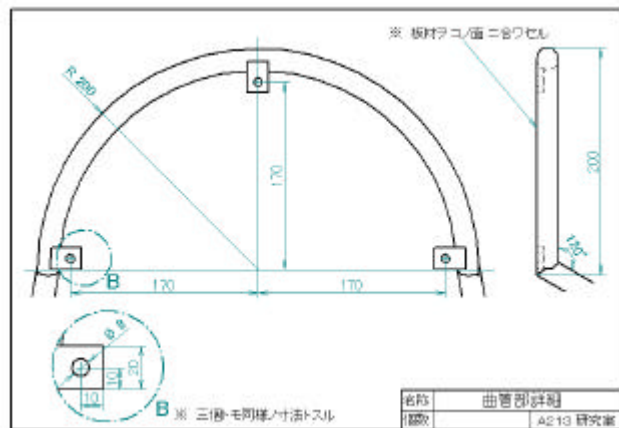
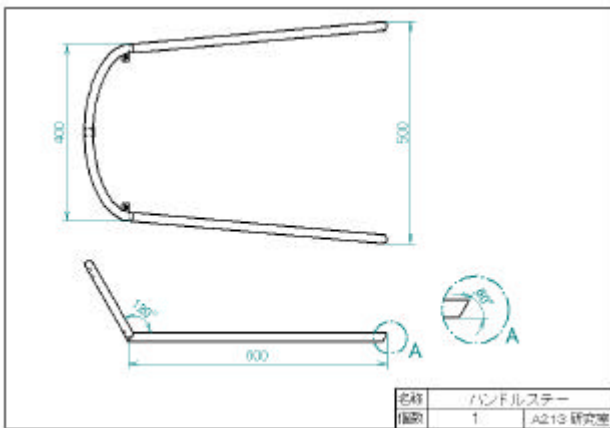
ステ - (5)

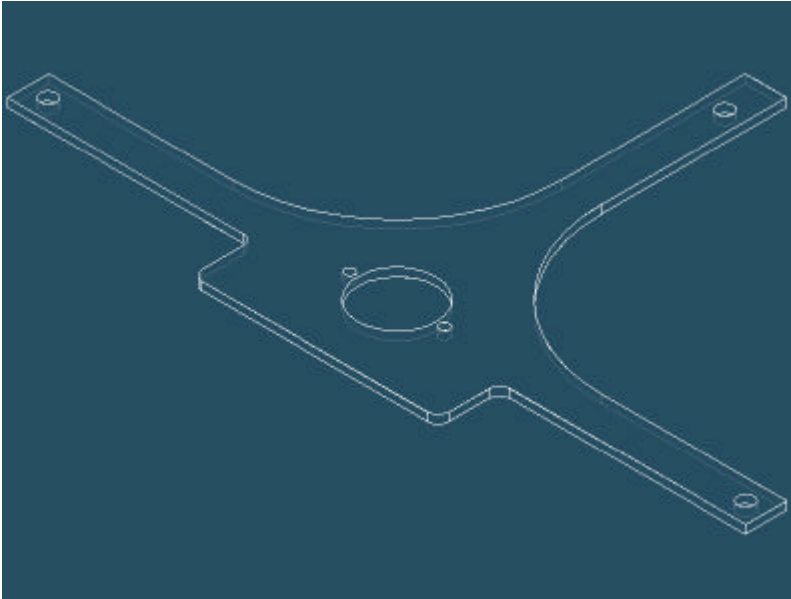


ハンドル取付部 3 D

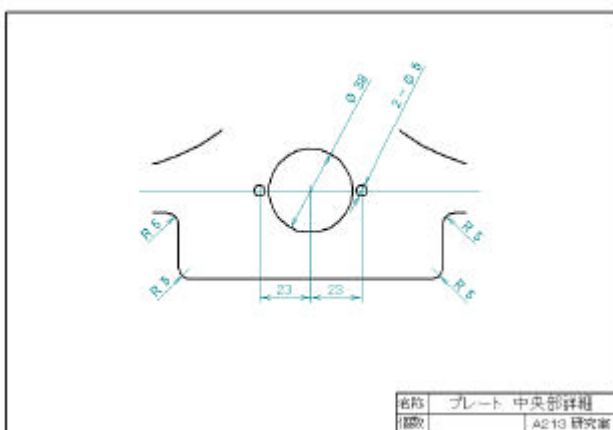
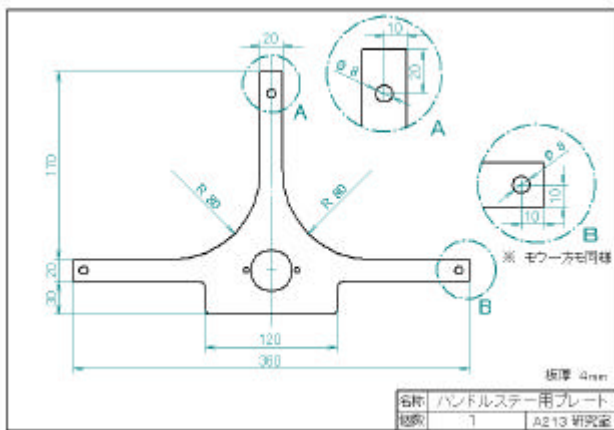


ハンドル取付部 2 D

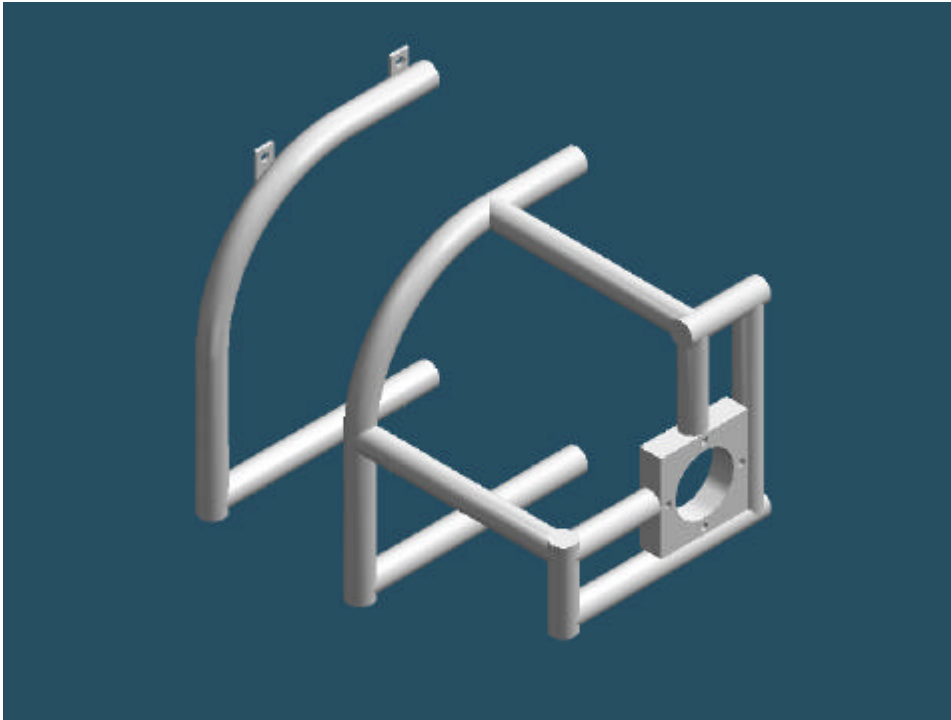




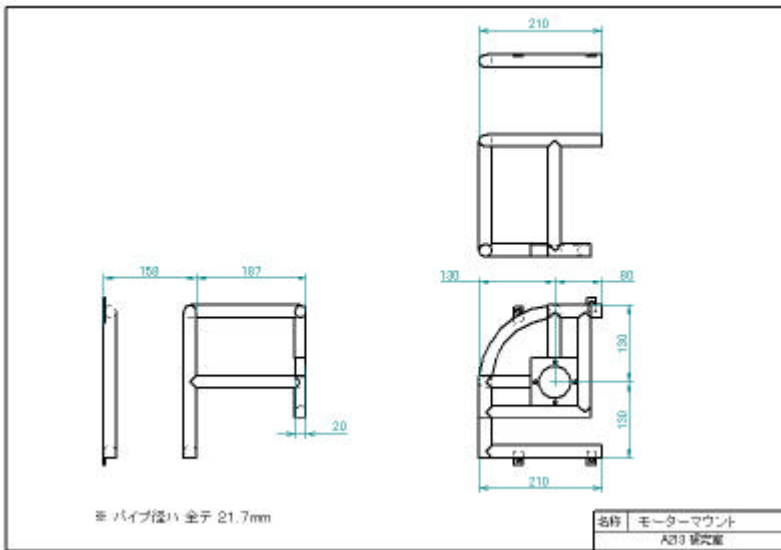
ハンドル取付部用プレート 3 D



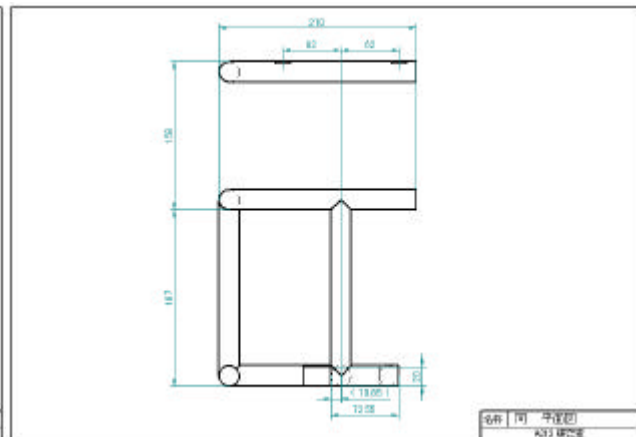
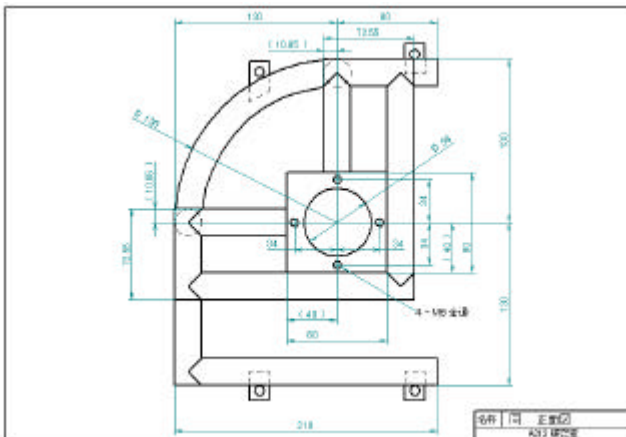
ハンドル取付部用プレート 2 D

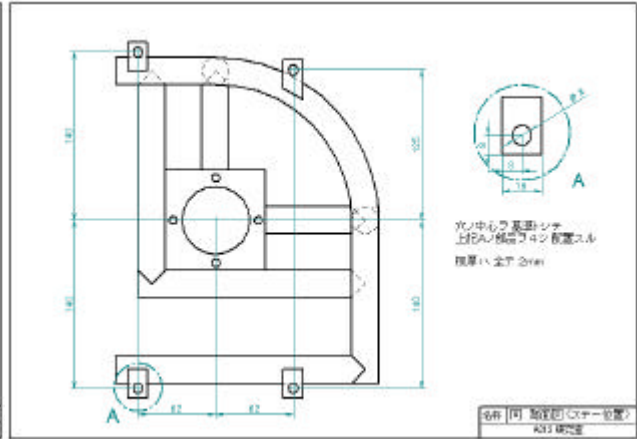
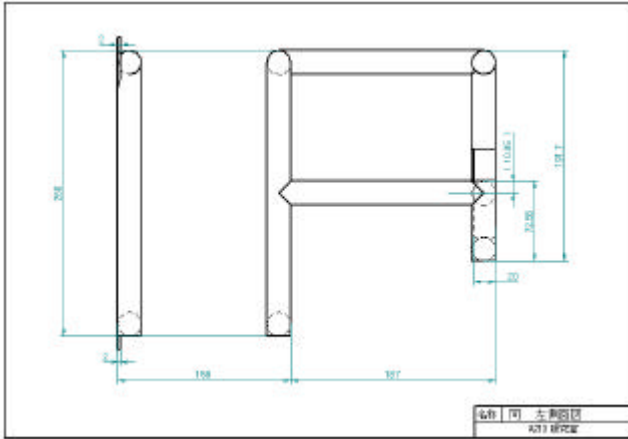


モータマウント 3 D



モータマウント 2 D

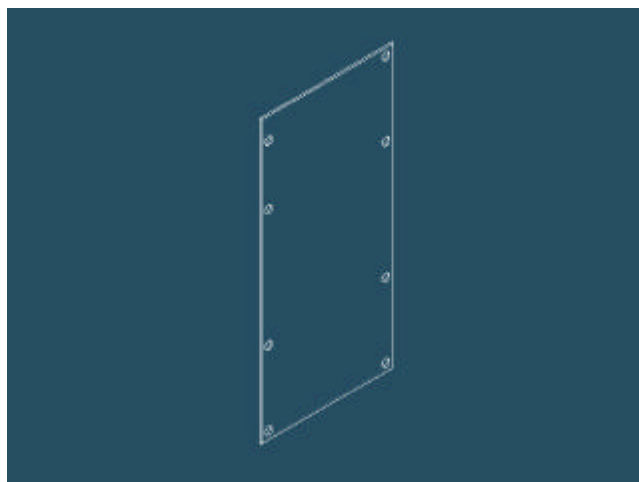
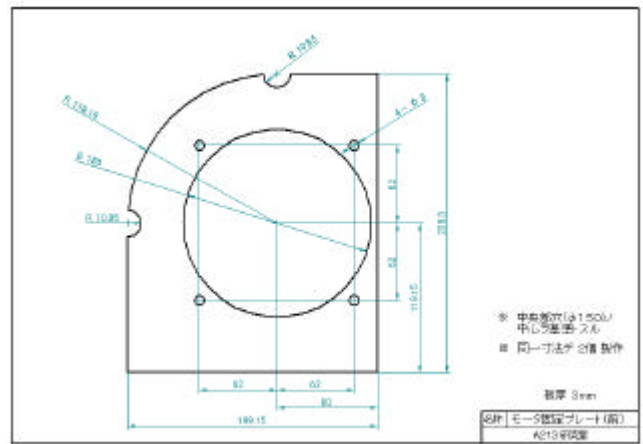




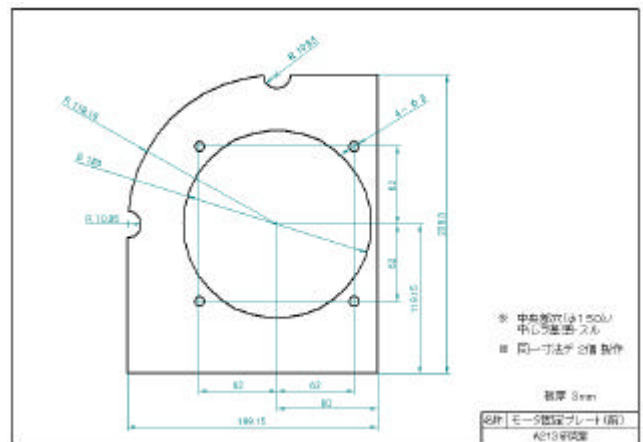
モータマウント 2 D (続き)

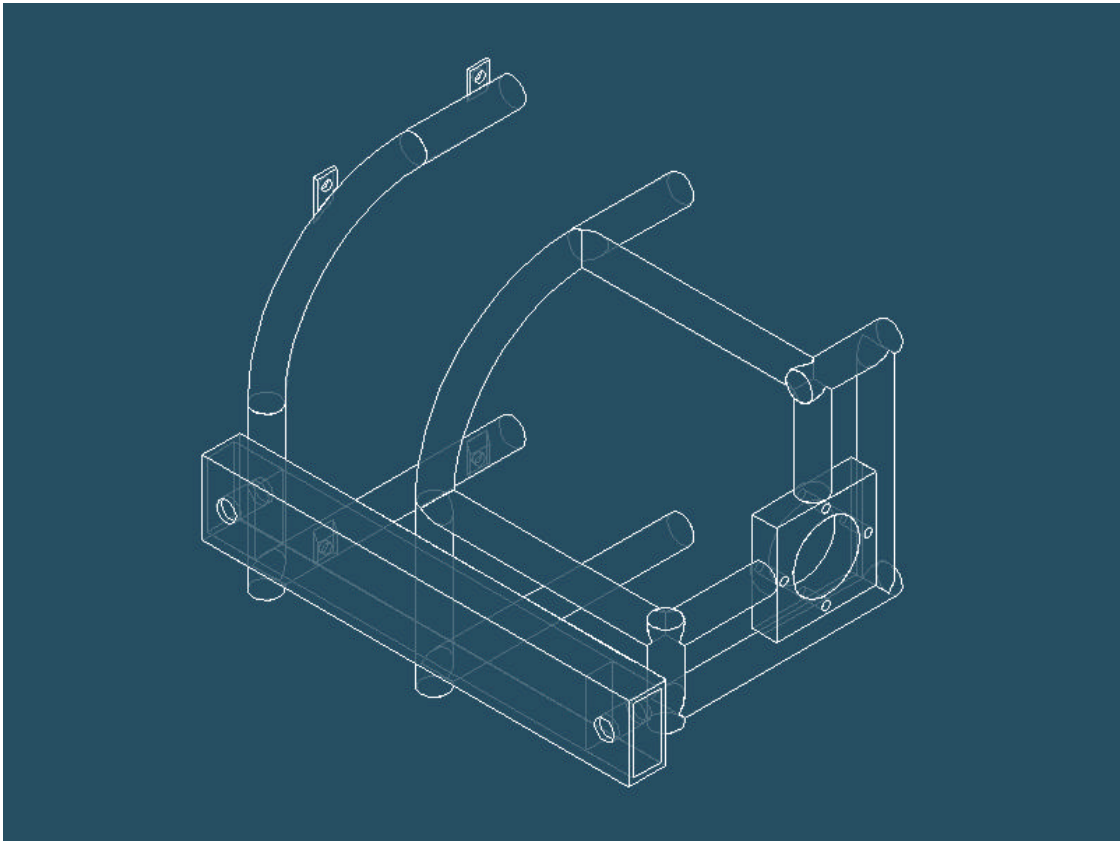


モータ取付用プレート (1)

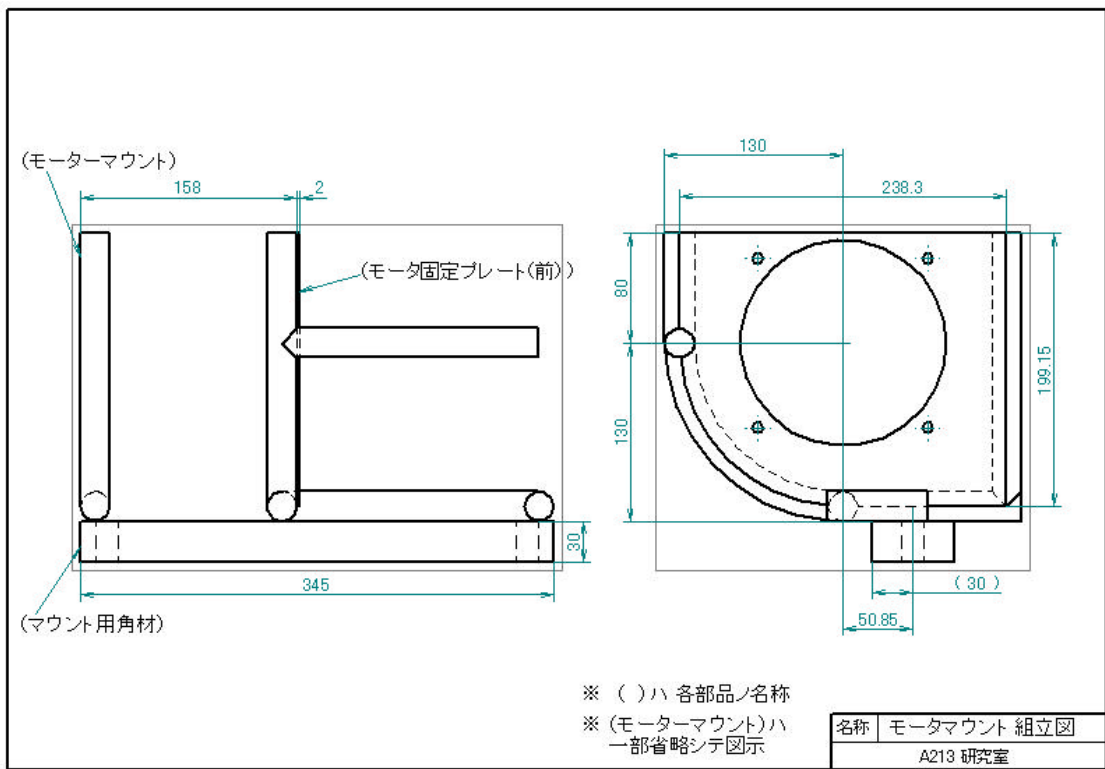


モータ取付用プレート (2)

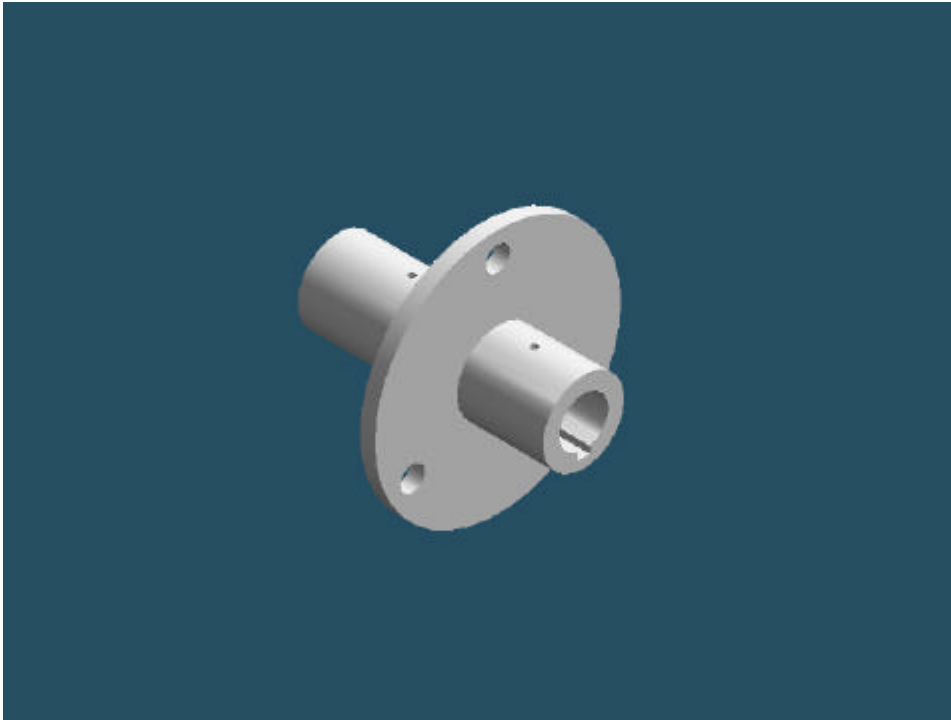




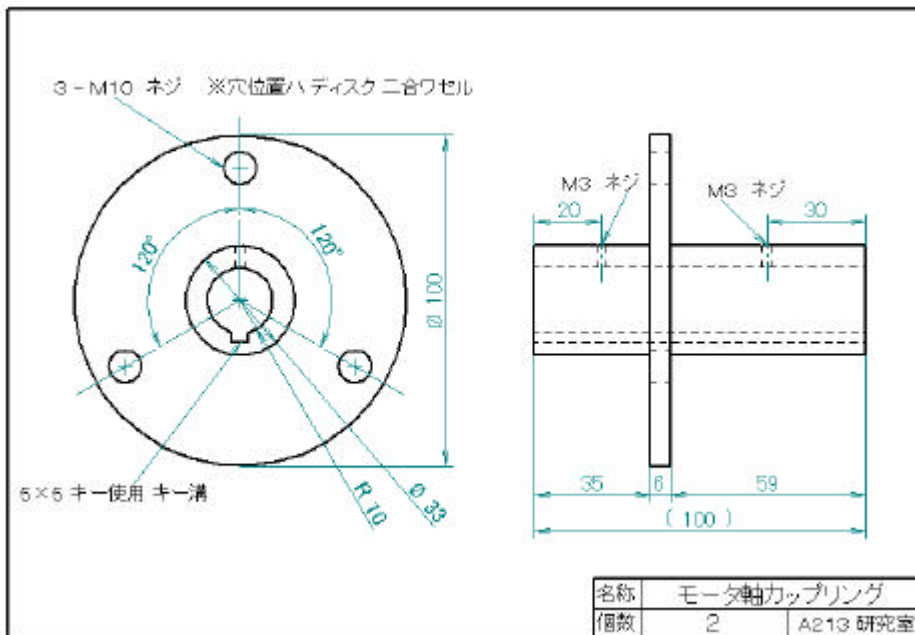
モーターマウント 3 D



モーターマウント 2 D



モータ軸カップリング 3 D



モータ軸カップリング 2 D

付録 B 学会発表資料

製品分解による小型風力発電機、小型水力発電機の設計思想

坂本東男（高知工科大学） 松岡順一、伊藤淳、内野高誌、横山應祥

Design Idea of Small-Size Wind and Water Power Generators Obtained by Product Dissection

Haruo Sakamoto (Kochi University of Technology), Junichi Matsuoka, Jun Ito, Takashi Uchino, Masaaki Yokoyama

1. 緒言:

近年、地球温暖化の防止や地球環境の保全化の観点から、新エネルギー確保の開発研究が盛んとなっている。通産省では2010年に太陽光発電を500万kW、風力発電を30万kWの目標で普及を目指している。

風力発電機には従来誘導型電磁石が使用されているが、最近特に中小型風力発電機に永久磁石が使われるようになってきている。従来の風力発電機はプロペラ(翼型)タイプが主流であり、定格発電能力は12.5m/sなど強風時に確保されるのが一般的である。小型風力発電機は集会所や個人住宅に普及されることを目指しており、このような強風状態での発電能力では十分な発電が得られないのが通常である。そこで、市販されている小型風力発電機を分解して、設計された思想をまとめ、今後の風力発電機の効率向上策に関して考察した。

製品分解は市販されている製品を分解して、中に含まれる創意工夫を学習出来る。また複数の製品を対象とすることにより、比較により、より良い設計の指針を得ることが可能となる。以下、市販の小型風力発電機、小型水力発電機を分解して、得られた指針を報告する。

2. 製品分解によるエコデザイン学習事例1)

工学系大学、特に機械工学分野では製品分解によるデザインの学習を行う大学がある²⁾。高知工科大学では1年生へ機械工学への導入学習として製品分解を実施した¹⁾。米国製、日本製の製品を分解して両者の設計思想を比較した。ここでは電池式室内クリーナーの例を説明する。

比較したのは図1に示す米国製ブランドAと日本製ブランドBの2つのクリーナーである。価格に関しては日本製が米国製の3倍以上であるが、外観、性能には大差が認められない。図2は1年生クラスでの分解作業風景であり、図3は分解した結果の比較である。さらに表1に2つのクリーナーの比較を数値で示す。米国製の方がエコデザインとなっている。日本製は消費者の意向である効率化、利便性の追求からねじ、部品点数が多くなっている。最終的には充電時間の違いが設計に大きく影響している。この例から言えることは、エコデザインを目指すには、日本では消費者の要求事項から考え直す必要がある。



比較の項目	米国製、ブランドA	日本製、ブランドB
ねじの数	6	12
電線の数	7	17
電気部品の数	2	52
フィンの数	6	19
スイッチの数	オンのみ	強、弱、オフ
フィルター	洗濯不可	洗濯可能
充電時間	24時間	4時間

図1 電池式室内クリーナ(左日本製、右米国製)

図2 1年生のセミナー(製品分解)風景

図3 分解結果比較(左米国製、右日本製)

表1 分解結果比較

3. 市販小型風力発電機の分解

3.1 米国 Southwest 製エアランド403(400W)

Southwest 製エアランド小型風力発電機は米国、日本で最も多

く販売されていると言われている。図4に外観を、図5に概略分解の状態を示す。本体は620mmの長さ、胴回り(最大)が142mm、重量は6.0kgである。長さ56cmの羽3枚で回転し、発電開始風速は3.0m/s、定格400Wは風速12.5m/sで出力される。図6に磁石が着いたローターとコイルの着いたステータを示す。ローターは12個のNd-Fe-B系永久磁石がエポキシで接着され、幅8mmのステンレス鋼バンドで補強されている。コイルは分布巻であり、コアの電磁鋼板の内径部は磁石の3倍の数である36個の突起を有している。3相での電力出力となっている。羽根はサーモプラスチック系カーボンファイバ強化材料で、効率的に電力を取り出す形状を検討されたと記述されている。強風時にはブレードの先が風によってねじられ、余分な力を逃がす働きをしている。



図4 米国製エアランド403 小型風力発電機



図5 同上発電機の小分解

3.2 日本、新日本技研製SNK-1000(1kW)

日本では風力発電機のメーカーが少なく、大型では三菱重工製が有名である。小型の風力発電機メーカーであった新日本技研が製作した定格1kW発電の風力発電機を入手して分解した。図7に外観を示す。図7左のフランジ部分に3枚の羽根(1.3m)をセットする。プロペラ(羽根)は木製である。本体は縦71cm、横38cm、奥行32cm

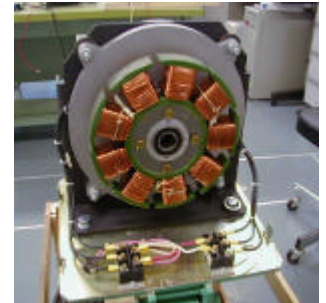


図6 同上発電機のロータ、ステータ

図7 新日本技研の1kW風力発電機(左羽根をはずした外観、右フードをはずした外観)

図8 同上ローターをはずした外観

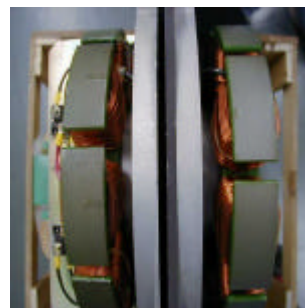


図9 ローター(内径に8個の磁石)

3.3 英国製ウインドチャージャー300W

英国式ウインドチャージャーを図10に示す。図面から3D-CADで描いてみた。真ん中がコイルをセットしたステータであり、その両サイドに磁石が配置されたローターが2つある。コイルはコアがなく、樹脂で固められている。コイルは8個で磁石も片側8個である。

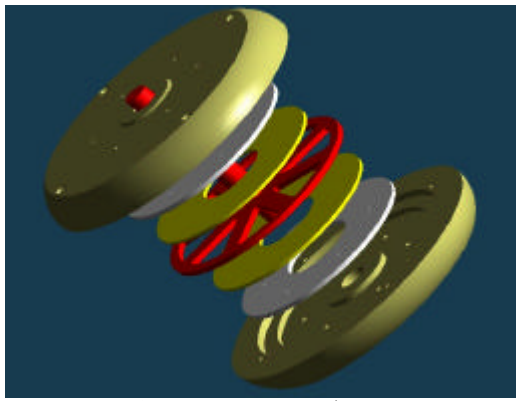


図 10 英国式ウインドチャージャの 3D-CAD

5. 結言：省略

4 小型水力発電機の分解

4.1 米国製 AQUAIR 小型水力発電機

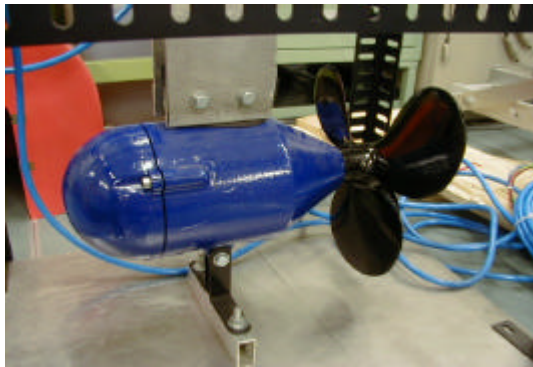


図 11 小型水力発電機（米国 AQUAIR）



図 12 同上磁石を付けたロータ（2段）



小型電気自動車の設計・製作

澤田達郎（高知工科大） 正 坂本東男（高知工科大）
戒能徹（高知工科大） 横山應祥（高知工科大）

1. 緒言

環境面や騒音などに対する観点から電気自動車が注目され、自動車メーカーから電気自動車や、内燃機関とのハイブリッド自動車などが発表・発売されている。しかしながら、電気自動車の技術的・環境的課題として、航続距離の短さ、充電時間の長さ、バッテリーの重量、専用バッテリーの価格、充電場所の不足などが挙げられ、内燃機関を搭載した自動車の代替にはなっていないように思われる。

我々は上記の課題を考え、公道を走行でき、短距離移動用として使用する小型の電気自動車の設計・製作を検討した。規格は原動機付四輪自転車のに適用でき、バッテリーも比較的安価な普通乗用車（RV車用密閉型）のものを使用した。

短距離移動用としたのは、長距離走行を行い、深放電を繰り返し行くと寿命が短くなる、走行中一定の電圧で最後まで使用することが出来ない、などの特性を持つ普通自動車用バッテリーを使用することや、前述した電気自動車の課題などを踏まえて決定した。

2. 小型電気自動車設計概念

(1) 車体サイズ目標値の設定

短距離移動用という性格上、移動先で電気自動車が走行不能になる場合や、遠距離を運搬しなければいけないことも考えられる。そのような事態にも対応するため、車体の全長・全幅・全高の目標値を軽トラックの荷台に余裕をもって乗るように、それぞれ、1.6m・1m・1.6mとした。

(2) サスペンション形式・フレーム形状の決定

サスペンション形式はフロントにダブルウィッシュボーン式の、リアにフルトレーリングアーム式の4輪独立懸架を採用した。その形式に対応するため、フレームの幅は、前部がアームを長く確保するために狭く、後部が剛性を高めるために広い台形形状となった。またメインフレームは、剛性向上とバッテリー等重量物の搭載スペース確保のため2重フレームとなっている。

(3) 3D-CGによるフレーム及びサスペンションの原案作成

イメージを表わすため、3D-CGソフトを使用してモデルを作成した。画像として表示させることにより、チーム内でのより具体的な形状把握ができ、設計相談や製作が円滑に行えた。図.1にCGモデルを示す。

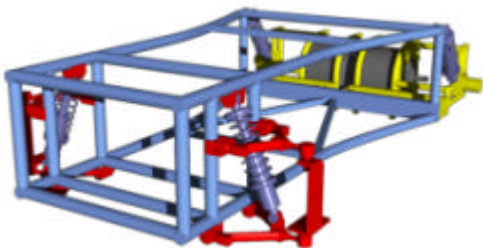


図.1 3D-CGにより作成されたフレームのモデル

(4) 3D-CADによるモデルと図面の作成

3D-CGによるモデルを参考に3D-CADで正確なモデルを製

作した。このデータを2D-CADデータに変換し、製作の発注に使用する製図とした。

3. 小型電気自動車の特徴

(1) モーター及びモーター取り付け部

内部で減速されたインホイールモーターを後部サスペンションのアーム上に1基ずつ搭載した。モーター軸と車軸はカップリングを介し直結されている。

(2) ブレーキ機構

前輪は油圧式ドラムブレーキ、後輪はモーターによる回生ブレーキにより制動される。前輪ブレーキはワイヤーによるサイドブレーキも兼ねている。ペダル等のユニットは軽自動車のものを使用し、真空ポンプによって倍力装置も作動する。

(3) ステアリング機構

ラックアンドピニオン式を用いた。また、ステアリングホイールには普通乗用車のそれを使用している。

(4) 制御

マイクロコンピュータを使用し、後輪に取り付けた2基のモーターの回転数を、ハンドルの切れ角に応じて差をつけている。（現在は2段階）

4. 小型電気自動車についての今後の課題

図.2の写真が現在までに出来ている小型電気自動車である。我々の機械製図に対する知識の足りない部分や、納期の関係から、最初の設計から何箇所か変更された部分がある。



図.2 小型電気自動車

現在モーターの出力が足りないためモーター内臓のギアで減速を行っているが、そのギア比は1:3.985と大きい。これはこのギア比しか選択肢が無かったためである。この状態ではスピードが15km/h未満しか出ないと考えられ、実用化していくためには不十分である。そのため今後はモーター取り付け部のユニットを現在のモーター軸・車軸の直結方式をやめ、ギアやプーリーを用いて外部で減速できるユニットに設計変更し、再制作する必要がある。また、各部の駆動ロスも大きく、それらも改善が求められる。

今後は実走行を行い、各部の技術課題の解決、及び実用性の向上を行っていきたい。

5. 結言

今後、制作した小型電気自動車の性能向上や自動運転技術を意識した勉強していきたい。

Capstone Design and Manufacture of Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle

Haruo Sakamoto, Takashi Uchino, Noriaki Onishi, Toru Kaino, Tatsuro Sawada, and Masaaki Yokoyama
Dept. of Intelligent Mech. Sys. Engr.
Kochi University of Technology
Tosayamada-cho, Kochi 782-8502, Japan

ABSTRACT

This paper describes an engineering education attempt in a synthesis class during the 4th year. Since the Kochi University of Technology was inaugurated in April, 1997, four years of engineering education trials have passed. In 1997, 3 student teams participated in an eco-power race held in Kochi, Japan, with hand-made ecological vehicles. In the summer, 1998, three teams participated in the Shikoku Electric Vehicle Rally using light weight vehicles converted into electric cars. The synthesis class was performed based on such past engineering activities. In order to provide an active learning opportunity, a synthetic learning environment is needed rather than just teaching in classes. Manufacturing is also considered to be of great importance for mechanical engineering as well as the basic sciences such as mathematics and physics. As a capstone learning course, a team of five students in the laboratory tried to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle.

INTRODUCTION

The Kochi University of Technology, shown in Figure 1, was opened in April, 1997. The university has been trying new engineering education such as first year seminars using real products¹⁾, computer assisted English education²⁾³⁾, and so on. In this report, an activity for a synthesis education class is described.

Two extracurricular (out of class and no credit) activities⁴⁾ were conducted. The first one is the Eco-power Race. In November, 1997, the Kochi Eco-power Race organized by Toyota Vista Kochi was held in Kochi, and three teams from the Kochi University of Technology entered the race. The second is the Electric Vehicle Rally. In August, 1998, the Shikoku Electric Vehicle Rally, organized by a committee of high school teachers and university educators, was conducted in Shikoku, the smallest main island of Japan. The rally is the first one in Japan for a car rally on public roads. Three teams from the Kochi University of Technology joined the race. The synthesis education class was performed in the 4th year based on the experiences from these activities. The team of five students selected a design theme and manufactured a hand-made small-size electric vehicle.

Electric or hybrid vehicles are being developed and sold. However, electric vehicles at the present are not perfect. They can not run very far, they need to charge which requires a long time, batteries are heavy and expensive, and so on. However, in the near future, fuel cell vehicles will become commercialized. This will make gasoline-powered vehicles less common. Under such a circumstance, five students from the Kochi University of Technology started to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle as a capstone project course in the 4th year. They selected a small-sized one instead of a conventional one, and aimed to produce a hand-made vehicle for short-range running.



Figure 1 Kochi University of Technology Opened in 1997

DESIGN CONCEPT

The first of the main design concepts is a small-sized vehicle, whose vehicle category is equivalent to the one for the engine-powered three or four wheel bicycles in Japan. The size was determined as being able to carry the vehicle in a light weight truck for a long drive. The length, height, and width were 1.6m x 1.0m x 1.6m.

The second main design concept is the frame design. Applying a double wishbone type suspension for the front and full trailing-arm type suspension for the rear, the frame configuration was studied. Using 3-dimensional computer graphics (3D-CG), the frame configuration was determined. Figure 2 shows the graphics for the mounting suspensions and two motors. The team recognized that the 3D-CG image was effective for the group to determine the target the team will aim.

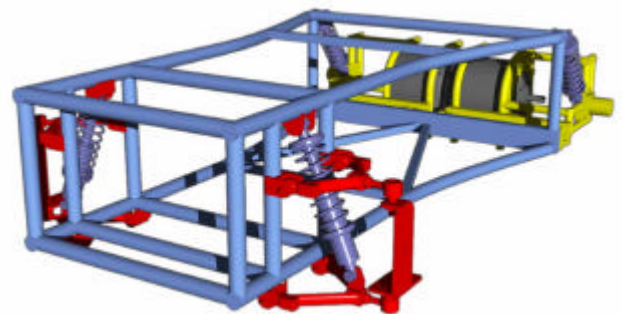


Figure 2 Frame Model by 3D-CG (Computer Graphics)

The third main design concept is to determine the motor. The in-wheel motor made by Honda for electric vehicles was applied, because the motor has a controller inside, and output data can be used

for control. Although rather high power motors of 14kW for electric vehicles are in the laboratory, the team decided to use two Honda motors of 600W, which seemed not to be enough for the vehicle. They used these motors, because they can make some devices to control the vehicle. Figure 3 shows the motor.



Figure 3 Honda In-wheel Motor

DETAIL DESIGN AND MANUFACTURE

Frame Design and Manufacture

Based on the image developed by the computer graphics, the frame design was performed by 3-dimensional computer aided design (3D-CAD). Figures 4 and 5 show the 3D-CAD graphics of the main frame and mount frame for the motors. The front part of the main frame was determined to have a width smaller than the rear one, because the wishbone arms are desired to be long enough within the planned vehicle width. The width of the rear part in the frame is set to be longer within the planned vehicle width in order to obtain a high twist rigidity.

About 30 two-dimensional drawings were made for the manufacturing.

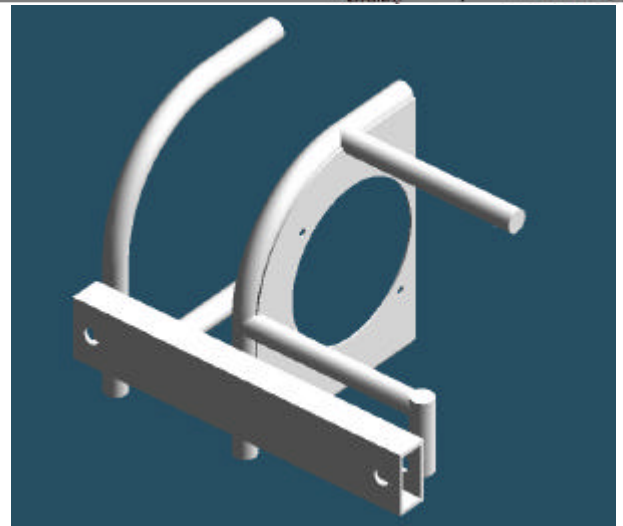
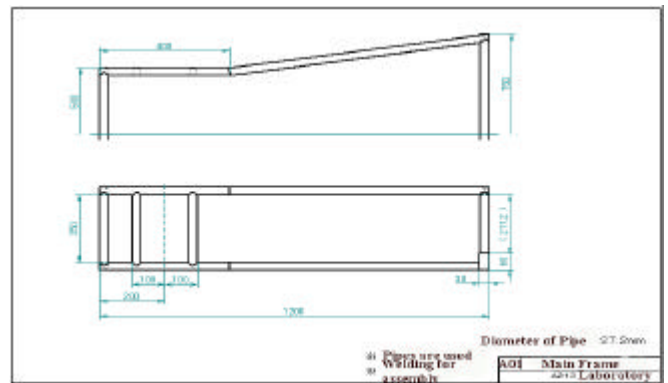


Figure 5 3D-CAD Drawing of Motor Mount Frame
Figure 6 2D Drawing of Main Frame

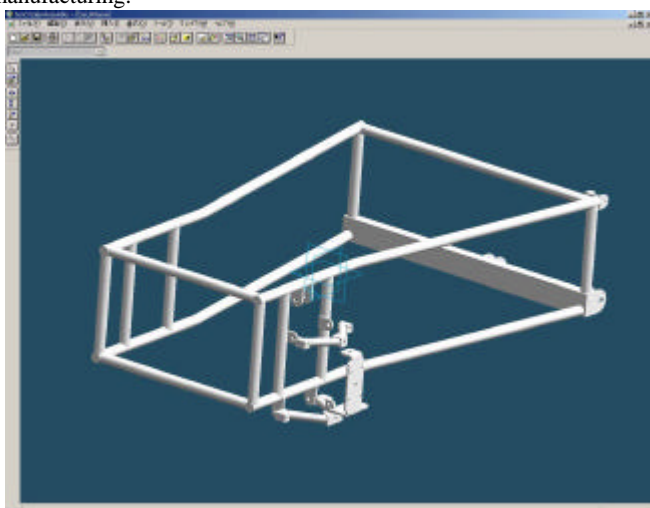


Figure 4 3D-CAD Drawing of Main Frame

Since the university is not ready to manufacture by welding, the assembly by welding was conducted at a shop near the university. The drawings were not sufficient for manufacturing due to the time constrain from design to manufacture and due to the inexperienced students' ability for drawing. Figure 6 is a drawing example. The team made 30 drawings and discussed them with people in the shop.

Front Suspension and Steering Construction

The front suspension was determined to be a double wishbone type one, because of its high rigidity, stable camber angle, and is common in conventional automobiles. Figures 7 and 8 show the suspension system.

As for the steering construction, it consists of a steering wheel (handle), shaft, gear box of the rack and pinion type, and rod. The gear box for a light weight vehicle has been commercialized, and is used for this project. Between the handle and shaft, and between the shaft and gear box, universal joints are applied for flexible angle control. At this moment, the vehicle is driven by a handle for cornering. In the future, sensor control will be studied for auto vehicle steering. In order to obtain an auto steering function, the gear box of the rack and pinion type will be controlled by a servo-motor. Figure 9 shows the gear box.



Figure 7 Front Suspension System (With a Tire)



Figure 8 Front Suspension System (Closer View)



Figure 9 Gear Box of Rack and Pinion Type

Rear Suspension and Motor Mount

The rear suspension is the full trailing arm type as shown in Figures 10 and 11. The motor is mounted on the mount frame, which can move vertically by the trailing arms. From the design concept of the rear suspension, the motor shaft and the wheel shaft was determined to be directly connected. The shafts are connected by the coupling shown in figure 12. The center of the motor shaft was intended to coincide with that of the wheel shaft. However, due to the deformation caused by welding, the center to center is not straight enough for driving. This should be modified.



Figure 10 Rear Suspension and Motor Mount

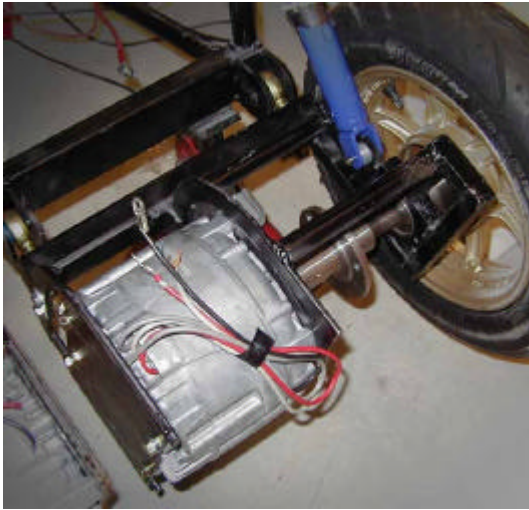
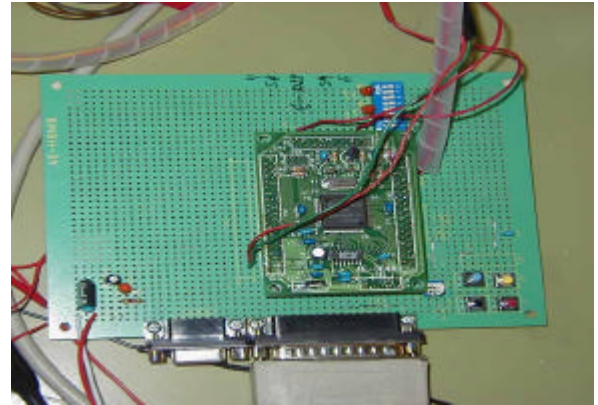


Figure 11 Rear Suspension and Motor Mount (Closer View)

Motor and Drive Control

The vehicle is powered by the two motors, which control the two rear wheels. The motor is the Honda in-wheel type, DDW-4060 Type A, and the microprocessor from Akizuki Electric Co. AKI-H8 is used for the drive control. The four signal electric wires of speed, brake, clock-wise rotation and anti-clockwise rotation, and compensated current are used for monitor and control.

The curving control is conducted by obtaining the rotational speed difference between two wheels running on the curve. Figure 12 shows the rotational speed ratio of the outer wheel and inner wheel. A simple control is planned for the first stage of vehicle control. 100% and 90% of the speed difference was decided for drive control. The speed difference control should be continuously conducted according to each curve radius. However, this project is the very first stage for control, and the simple control was used in order to initially study and then modify. Figure 13 shows the microprocessor board, and Figure 14 shows the rotational speed difference between the outer and inner wheels depending on the curve radius. The display for the drive control is then produced, and Figure 15 shows the display.



Ratio of Inner Wheel / Outer Wheel Rotational Speed

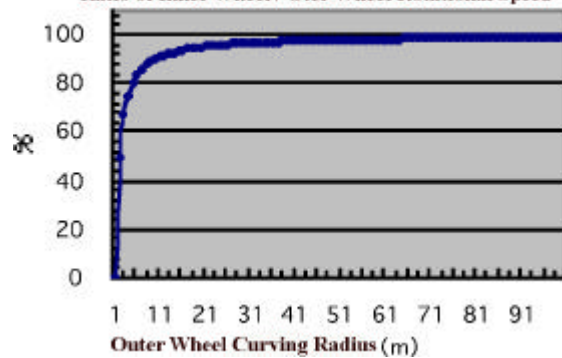


Figure 13 Micro Processor Board for Drive Control

Figure 14 Rotational Speed Difference on Curves

Brake System

The brake system consists of a brake pedal, master cylinder, and drum brake on a wheel. Because the brake pedal and master cylinder for three or four wheel bicycles is not sufficient to the vehicle, a set

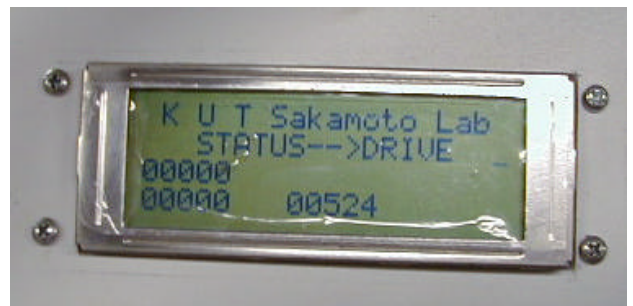


Figure 12 Coupling between Motor and Wheel Shafts

Figure 15 Display for Drive Control

consisting of a brake pedal and master cylinder for light weight vehicles was used. Figure 16 shows the cylinder for the pressure amplifier. In the future, the auto brake system using some sensors will be planned.



Figure 16 Brake Cylinder for Pressure Amplifier

Assembling

After the manufacture of the main and motor mount frames, the vehicle was assembled. Figures 17 and 18 show its appearance. The vehicle was originally planned to be designed and manufactured in order for the team to participate in the 2000 Electric Vehicle Rally in Shikoku, which was held in August, 2000, in Kochi. However, the assembling was not finished by the time the rally started. The work was again started in the autumn semester, and finished by the end of Jan., 2001. However, technical matters are still to be solve, which will be studied in the next year.



Figure 17 Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle (Side View)



Figure 18 Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle (Back View)

DISCUSSION

Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle

There are a variety of technical matters to be solved. The weight, speed, and control are the main items to be further studied. The original target of the weight was not clarified, and the weight after manufacture is about 350kg. The weight reduction should be studied by making a parts list with individual weights and then by seeking lighter ones. The speed depends on the motor. Since the team selected the motor by considering the ability of control and data acquisition, the selected motor was not the one which has enough power for the vehicle. If the team selects a 14kW motor, which was used for the 1998 Shikoku Electric Vehicle Rally, the power will be sufficient, unless the team care about the ability of data acquisition. The motor selection is a matter to be studied. The control of the two wheels rotational speed on curves is not complete. The team was able to make a two-stage control of 100% and 90% for the two-wheel speed difference. The control of driving and braking should also be further considered.

Capstone Design and Manufacture Project

As a project for 4th year students, the project requires manufacturing as well as design. The theme and target of the project are in students' hands. In other word, they need to consider the theme and target by themselves. The instructor thinks that the project should not be restrained by those in the research field, since the faculty' discipline is normally in a small area of the academic research field. The project should be aimed at the real world, and manufacturing is of great importance in mechanical engineering.

The team selected the project of a hand-made small-sized electric vehicle, which needs design and manufacturing as well as knowledge of automobile technology and how to make the vehicle. The faculty played the role of supporter, and is not able to teach the automobile technology. The team needed to find the related parts and to study how to design and manufacturing by themselves. The team needed to negotiate with the people from the welding shop and parts makers.

Although the completed vehicle was not the one that the team originally wanted, since the weight, power, and control need to be modified, the team succeeded in producing a real product. The project theme was considered to be appropriate in a sense for the study for 4th year students in mechanical engineering.

CONCLUDING REMARKS

As a capstone design and manufacturing project, the team of five 4th year students were challenged to design and manufacture a

hand-made small-sized electric vehicle. The obtained results are as follows.

1. The hand-made small-sized electric vehicle was completed, although many technical matters still need to be solved. The weight, speed, and control are the main items to be further studied.
2. As a project, the team considered their theme and target. The faculty was a supporter for this project from the viewpoints of funding and suggestions. The team completed the vehicle by themselves.
3. The project theme aimed at manufacturing as well as design. In a design process, computer graphics were effective for the group discussion. Although the design detail was not sufficient for manufacturing due to students' inexperience in design ability, the team obtained experience on how to produce a product with their own drawings.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors greatly acknowledge the people who performed the welding work in the shop (Fukutome Kogyo). The authors would also like to express their sincere thanks to Professor Hiroshi Nomura for his kind guidance on electric vehicles.

The team also expresses sincere thanks for the support from the Kochi Prefecture budget of the related 'Karakuri Project'.

REFERENCES

- 1) Haruo Sakamoto, Kazuhiro Kusukawa, Jens Jorgensen, Mechanical Engineering Education for 1st Year Seminar Using Real Products, ASME, DE-Vol.102, (1999), p13-17.
- 2) David Greene. "LATCH: a syllabus design for EFL instruction in CALL" in Computer Assisted Language Learning (Lisse, The Netherlands), 11, 4, 381-96.
- 3) Lawrie Hunter. "Text nouveau: visible structure in text presentation" in Computer Assisted Language Learning (Lisse, The Netherlands), 11, 4, 363-79.
- 4) Haruo Sakamoto, Extracurricular Education and Experimental Course Using Electric Vehicles, ASEE 2001, to be presented.